В О Е Н Н О-К О С М И Ч Е С К А Я А К А Д Е М И Я
и м е н и А.Ф. М о ж а й с к о г о

ISSN 2218-5429

Т Р У Д Ы

ВОЕННО-КОСМИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ имени А. Ф. Можайского

П о д о б щ е й р е д а к ц и е й
доктора технических наук,
профессора **Ю. В. Кулешова**

В ы п у с к 647
Июнь

И з д а е т с я с 1 9 4 2 г о д а

Санкт-Петербург
2015

УДК 355.232.6:629.78
ББК 68.55
В 634

Р е д к о л л е г и я:
председатель **Ю.В. Кулешов**, *доктор техн. наук, проф.;*
зам. председателя **И.В. Сахно**, *доктор техн. наук, проф.;*
ответственный секретарь **С.Г. Алёхин**, *кандидат техн. наук*

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

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

Техническая поддержка:
Н.А. Станкевич

В 634 **Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.** Выпуск 647 / под ред. Ю.В. Кулешова; редкол.: Ю.В. Кулешов, И.В. Сахно, С.Г. Алёхин и др.; ответств. за вып.: С.В. Чернышёв, А.А. Диголь; техн. поддержка: Н.А. Станкевич. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2015. – 255 с.

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

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

УДК 355.232.6:629.78
ББК 68.55

© ВКА имени А.Ф. Можайского, 2015

Подписано к печ. 30.06.2015 | Формат печатного листа 445×300/4
Гарнитура Times New Roman | Печ. л. 64,00
Авт. л. 31,75 | Заказ 3056 | 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.
Адрес редакции: 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13, тел. 8 (812) 347-97-69; http://trudvka.ru

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Гоголевский А.С., Романов А.В., Рассадин А.В., Уткин Л.В. Робастная модель диагностической классификации с генерацией дискретных признаков……. 6

Данилов А.И., Данилов А.А. Динамические модели испытаний программных средств с двумя типами ошибок…… 12

Копкин Е.В., Кравцов А.Н., Чикуров В.А. Выбор диагностических признаков с учетом их ценности для распознавания технического состояния объекта……... 22

Мануйлов Ю.С. Осипенко С.А., Павлов А.Н., Павлов Д.А. Сравнительный анализ результатов планирования комплекса операций информационного взаимодействия сложных объектов в динамически изменяющихся условиях……... 30

СВЯЗЬ, УПРАВЛЕНИЕ И НАВИГАЦИЯ

Алешкин А.П., Бахолдин В.С., Леконцев Д.А. Анализ информационных характеристик сигналов систем космической радиолокации и радионавигации и предложения по их улучшению…….. 37

СБОР И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Бережной И.В., Гурский С.М., Карасев В.Т., Маковский В.Н., Фомин А.И. Контроль изменений структуры системы связи с динамической топологией……... 43

Еремеев И.Ю., Клецков Д.А. Применение показателя Херста для поиска служебных пакетов канала управления в групповых сигналах спутниковых систем связи с многостанционным доступом и временным разделением абонентов…….. 48

Еремеев И.Ю., Старицин С.С. Закономерности частотно-временной структуры сигналов с «быстрой» псевдослучайной перестройкой рабочей частоты сформированных на основе М-последовательностей……... 57

Капицын С.Ю., Лысенко А.В., Назарова Т.С., Хурмаева А.Р. Методика оперативного выявления индивидуально-психологических особенностей личности…….. 66

Пророк В.Я., Горянский А.С. Анализ планирования сбора некоординатной информации для средств контроля космического пространства……... 71

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Новиков С.В., Андрушкевич Д.В. Подход к построению системы контроля безопасности информации в автоматизированных системах……. 77

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Восканян К.Л., Дивинский Л.И., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. Применение сплайн-экстраполяции для текущего прогнозирования приземной температуры воздуха……... 88

Иванов В.Г., Каменев А.А., Поспелов Г.В., Савин С.В. Оптико-электронное средство для обнаружения, определения спектроэнергетических параметров и координат источника лазерного излучения инфракрасного диапазона……... 93

Маслов В.П., Исаков Е.Е., Пономарев С.Ю. Проблемные аспекты использования геоинформационных систем в управлении мобильными воинскими частями и подразделениями…….. 101

Осипов Г.К., Алексеев А.В., Ефимов А.Н. Концептуальная модель геоинформационной системы военного назначения……... 109

Сучков В.И., Кравцов А.Н., Ткаченко В.В. Подход к представлению знаний о методах обработки телеметрической информации в автоматизированных системах специального назначения…….. 116

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Абсалямов Д.Р., Моторин В.М., Буяков С.Н., Миргородский А.Н., Литвинюк А.В. Управление воздушной системой обеспечения теплового режима специальных объектов термостатирования с обоснованием требований к ее перспективному облику…… 122

Басыров А.Г., Широбоков В.В. Модель функционально-распределенных вычислений в орбитальной группировке микроспутников……. 129

Гудаев Р.А., Катюха Р.В., Логунов С.В., Рогов Д.А. Применение информации, получаемой от средств радиотехнического контроля, для решения задач распознавания космических аппаратов……. 137

Дарвейш С., Добролюбов А.Н., Лебедев Е.Л., Самойлов Н.С. Влияние содержания алюминия на коррозионную стойкость сталей…… 142

Кулганов В.А., Гильванов П.Р. Функциональное состояние и работоспособность операторов ракетно-космических комплексов при моделировании экстремальных ситуаций…… 147

Кулганов В.А., Гильванов П.Р. Функциональное состояние и работоспособность операторов ракетно-космических комплексов при моделировании режима ожидания…… 156

Дарвейш С., Добролюбов А.Н., Лебедев Е.Л., Самойлов Н.С. Механические испытания углеродистых сталей с различным содержанием алюминия…. 165

Наумчик И.В., Сырцов Л.А., Соколова И.В., Савина Т.Ф. Способ измерения массового расхода жидкостей с помощью сужающего устройства на основе трубы Вентури…… 171

Пророк В.Я., Охотников Ю.Ю., Чешев И.В. Оптимальный порядок диагностирования радиолокационной станции специального назначения……. 180

Дарвейш С., Добролюбов А.Н., Лебедев Е.Л., Самойлов Н.С. Методика применения программного обеспечения «Микро-анализ Pro»для анализа фазового состава углеродистых сталей с различным содержанием алюминия…… 185

Шевченко А.В., Юрьев А.С., Дёма И.А. Применение современных методов численного моделирования при разработке и совершенствовании летательных аппаратов……. 192

ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Калинин В.Н., Коцкович А.В., Хохлова М.В. Методика промежуточного контроля уровня сформированности компетенций курсанта с использованием компьютерного тестирования…….. 198

Конорев В.В. Реформирование системы военного образования и ее влияние на культурный облик командира Красной Армии в 20-е годы XX века….. 205

ВОПРОСЫ ГУМАНИТАРНЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК

Гуторович О.В. Проблема войны и мира в истории философии…… 218

Лосик А.В., Щерба А.Н. Об основных направлениях исследований по историческим научным специальностям ученых и сотрудников Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского с 1990-х годов по настоящее время: историографический анализ……. 229

Рефераты статей……... 240

Сведения об авторах……..…….. 247

Сведения о рецензентах…….. 254

А.С. Гоголевский,
кандидат техн. наук;
А.В. Романов;
А.В. Рассадин,
кандидат техн. наук;
Л.В. Уткин,
доктор техн. наук, профессор
СПбГЛТУ

РОБАСТНАЯ МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ С ГЕНЕРАЦИЕЙ ДИСКРЕТНЫХ ПРИЗНАКОВ

В работе предлагается новая модель диагностирования на основе двоичной классификации, подтверждающей или опровергающей определенный диагноз. Модель является робастной по отношению к возможным искажениям параметров сложной технической системы (СТС) и учитывает возможность небольшого количества примеров в обучающей выборке. Основой для построения модели является использование робастной модели ε-засорения и метода Монте-Карло. Модель расширяет обучающую выборку и позволяет для ее обработки использовать стандартные средства классификации.

Ключевые слова: классификация, функционал риска, робастная модель, метод Монте-Карло.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема диагностики на основе данных, полученных за некоторый период времени технологического процесса, и реализация системы принятия решений по выработке управляющих воздействий является одной из актуальных задач при подготовке ракеты космического назначения (РКН) на стартовом комплексе (СК).

Несмотря на быстрое развитие интеллектуальных систем поддержки и принятия решений по выработке правильного решения на управление технологическим процессом, остаются нерешенными вопросы по обработке новой или ранее не диагностируемой СТС, статистические данные по которой либо отсутствуют, либо являются существенно ограниченными. Это не позволяет использовать существующие методы классификации и определения технического состояния (ТС), основанные на большом объеме обучающей выборки.

Таким образом, разработка новых методов классификации как элементов системы поддержки и принятия решений, учитывающих возможно малый объем обучающей выборки, а также «устойчивых» или робастных к возможным искажениям информации об объекте диагностирования, представляется весьма актуальной задачей.

В работе предлагается новая модель диагностирования на основе двоичной классификации, подтверждающей или опровергающей определенное техническое состояние. Модель является робастной по отношению к возможным искажениям диагностических признаков и учитывает возможность небольшого количества информации в обучающей выборке. Основой для построения модели является использование робастной модели ε-засорения. Выбор этой модели обусловлен рядом факторов. Во-первых, она обладает свойствами, позволяющими учитывать объем имеющейся информации. Во-вторых, эта модель работает с дискретными данными, которые доминируют в процессах подготовки РКН на СК. Во многих случаях, даже при наличии непрерывных признаков, они разбиваются на интервалы, образуя дискретные величины.

Общая схема построения модели классификации является следующей:

1. Построение множества функций распределения вероятностей для каждого признака с использованием робастной модели ε-засорения.

2. Выбор оптимальной функции распределения вероятностей для реализации минимаксной стратегии принятия решений.

3. Использование метода Монте-Карло для генерации дополнительной обучающей выборки в соответствии с выбранной оптимальной функцией распределения вероятностей.

4. Применение стандартного метода опорных векторов для вычисления оптимальных параметров разделяющей функции на основе расширенной обучающей выборки.

СТАНДАРТНАЯ ЗАДАЧА КЛАССИФИКАЦИИ

Задача двоичной классификации может быть сформулирована следующим образом [1]. Имеется множество эмпирических данных (обучающая выборка)

$$(\mathbf{x}_1, y_1), (\mathbf{x}_2, y_2), \ldots, (\mathbf{x}_n, y_n) \in \mathbb{R}^l \times \{-1, +1\},$$

где $\mathbf{x}$ – вектор l признаков, примеров или параметров СТС, каждому из которых можно поставить в соответствие одно из двух значений зависимой переменной y, определяющей различные классы, например: $y = -1$ и $y = 1$. Задача двоичной классификации сводится к определению класса по значениям наблюдаемых параметров x на основе обучающей выборки по определенному правилу. Для решения задачи классификации необходимо определить разделяющую функцию $f(\mathbf{x}, w)$, знак которой определяет соответствующий класс и которая зависит от параметров $\mathbf{w} = (w_0, w_1, \ldots, w_l)$. Простейший вид разделяющей функции – линейный.

Одним из наиболее распространенных способов решения этой задачи является минимизация функционала риска:

$$R(w) = \int_{\mathbb{R}^l \times \{-1,1\}} L(\mathbf{x}, y) \mathrm{d}F(\mathbf{x}, y).$$

Здесь $L(\mathbf{x}, y)$ – функция потерь;

F – совместная функция распределения вероятностей (ФРВ) вектора $\mathbf{x}$ и класса y.

Минимизация функционала риска осуществляется по классу функций $f(\mathbf{x}, \mathbf{w})$. Другими словами, функция $f(\mathbf{x}, \mathrm{w}_{\mathrm{opt}})$ обеспечивает минимум функционала $R(\mathbf{w})$.

Если предположить, что все признаки дискретны и независимы, то функционал риска можно переписать в следующем виде:

$$R(\mathbf{w}) = P(-1)R_{-1}(\mathbf{w}) + P(1)R_1(\mathbf{w}),$$

где $R_y(\mathbf{w})$ – условный функционал риска для класса y при условии, что известны маргинальные условные функции распределения (ФР) $\mathrm{P}_i(x \mid y)$ каждого признака при заданном классе y;

$P(y)$ – априорная вероятность того, что пример $\mathbf{x}$ принадлежит классу y.

ЗАДАЧА КЛАССИФИКАЦИИ НА МНОЖЕСТВЕ ФР

Обозначим $Q_i(x \mid y)$ как функцию распределения вероятностей ФРВ i-го дискретного параметра при данном y. Тогда можно записать:

$$P_i(x_k \mid y) = Q_i(x_k \mid y) - Q_i(x_k \mid y), \qquad k = 1, \ldots, n.$$

Предположим, что точная ФРВ $Q_i(x \mid y)$ каждого признака не известна, а известны нижняя и верхняя границы множества $\mathcal{F}_i(y)$ ФРВ $Q_i(x \mid y)$ и они равны $\underline{Q_i}(x \mid y)$ и $\overline{Q_i}(x \mid y)$

соответственно. Для каждого $i = 1,\ldots,l$ определим множества

$$\mathcal{F}_i(y) = \{Q_i(x \mid y) | \underline{Q_i}(x \mid y) \le Q_i(x \mid y) \le \overline{Q}_i(x \mid y)\}.$$

Если функция потерь L убывает с возрастанием значения i-го признака, то нижняя и верхняя границы функционала риска $R_y(\mathbf{w})$ зависят от нижней и верхней границ ФРВ $Q_i(x \mid y)$ соответственно. Если L возрастает, то нижняя и верхняя границы функционала зависят от верхней и нижней границ $Q_i(x \mid y)$ соответственно. Это свойство существенно упрощает процедуру классификации при условии, что функция потерь монотонна по каждому признаку.

Поиск параметров дискриминантной функции зависит от того, какая функция распределения из множества $\mathcal{F}(y)$ будет выбрана. Одна из возможных стратегий – минимаксная (пессимистическая) стратегия. В соответствии с ней выбирается такая ФРВ из $\mathcal{F}(y)$, при которой показатели риска $R_y(\mathbf{w})$ для $y = -1{,}1$ достигают для каждого фиксированного значения w своего максимального значения.

Минимаксную стратегию можно интерпретировать следующим образом. Мы не знаем точную ФРВ $F(\mathbf{x}, y)$, и каждая функция из $\mathcal{F}_i(y)$ может быть выбрана. Поэтому выбираем наихудшее распределение, приводящее к наибольшему значению функционала риска. Минимаксную стратегию можно рассматривать, как некоторую страховку против наихудшей ситуации, так как эта стратегия минимизирует ожидаемые потери в наименее благоприятной ситуации.

Обозначим $\mathcal{F}(y) = \mathcal{F}_1(y) \times \ldots \times \mathcal{F}_l(y)$. Так как множества $\mathcal{F}(-1)$ и $\mathcal{F}(+1)$ получены независимо для каждого $y = -1$ и $y = 1$ соответственно, то

$$\overline{R}(\mathbf{w}) = \max_{\mathcal{F}(y)} R(\mathbf{w}) = P(-1) \max_{\mathcal{F}(-1)} R_{-1}(\mathbf{w}) + P(1) \max_{\mathcal{F}(1)} R_1(\mathbf{w}).$$

Минимаксный функционал риска в соответствии с минимаксной стратегией принятия решений принимает вид

$$\overline{R}(\mathbf{w}_{\text{opt}}) = \min_{\mathbf{w}} \overline{R}(\mathbf{w}).$$

Рассмотрим более детально задачу оптимизации $\max_{\mathcal{F}(-1)} R_{-1}(\mathbf{w})$. Большинство функций потерь $L(\mathbf{x}, -1)$, применяемых в задачах классификации, являются возрастающими при возрастании f. Отсюда следует, что верхняя граница функционала риска $R_{-1}(\mathbf{w})$, т.е. максимум $R_{-1}(\mathbf{w})$ по всем распределениям множества $\mathcal{F}(-1)$, достигается на ФРВ $\widetilde{Q}_i(x_i|-1)$, $i = 1,\ldots,l$, где

$$\widetilde{Q}_i(x_i|-1) = \begin{cases} \underline{Q_i}(x_i|-1), & L(x_i|-1) \text{ возрастает по } x_i, \\ \overline{Q_i}(x_i|-1), & L(x_i|-1) \text{ убывает по } x_i. \end{cases}$$

Приведенное условие представим в терминах функции f вместо функции потерь L:

$$\widetilde{Q}_i(x_i|-1) = \begin{cases} \underline{Q_i}(x_i|-1), & f(\mathbf{x}) \text{ возрастает по } x_i, \\ \overline{Q_i}(x_i|-1), & f(\mathbf{x}) \text{ убывает по } x_i. \end{cases}$$

Будем считать, что тип зависимости функции потерь от значений x_i каждого признака заранее известен. Для таких случаев можно точно указать, какие ФРВ (нижняя или верхняя) должны использоваться для расчетов. Таким образом, ФР $P_i(x_k \mid y)$ в выражении для $R_y(\mathbf{w})$ можно заменить разностью $\widetilde{Q}_i(x_{k+1}|y) - \widetilde{Q}_i(x_k|y)$.

Идея рассмотрения множества распределений вероятностей и использования минимаксной стратегии уже была предложена в работах [2, 3].

НОВАЯ МОДЕЛЬ КЛАССИФИКАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ РОБАСТНУЮ МОДЕЛЬ ЗАСОРЕНИЯ

Одним из известных подходов для учета неоднозначности априорного распределения в байесовских методах оценивания является использование устойчивых, или робастных, методов оценивания [4]. Существует большое количество робастных моделей, но наиболее популярные из них – модели засорения. Основная идея этих моделей заключается в том, что для защиты от ошибки выбора определенного априорного распределения P, предполагаемого как истинное распределение, формируется множество распределений $F(\varepsilon)$, которое содержит все распределения, достаточно близкие в определенном смысле к P. Здесь ε – мера засорения, которая изменяется от 0 до 1 и понимается как доля засоряющих распределений. Одной из робастных моделей данного типа является модель ε-засорения, для которой множество $F(\varepsilon)$ образуется распределениями вида $(1-\varepsilon)P+\varepsilon Q$, где Q – произвольное распределение.

Нижняя вероятность события A определяется как

$$\underline{P}(A)=\min\{(1-\varepsilon)P(A)+\varepsilon Q(A)\}=(1-\varepsilon)P(A).$$

Верхняя вероятность

$$\overline{P}(A)=\max\{(1-\varepsilon)P(A)+\varepsilon Q(A)\}=(1-\varepsilon)P(A)+\varepsilon.$$

Пусть $P(A)$ оценивается как $n(A)/N$, где $n(A)$ – число появлений A в N опытах. Обозначим $\varepsilon=s/(N+s)$. Параметр s определяет, как быстро верхняя и нижняя вероятности событий сходятся при накоплении статистических данных. В соответствии с моделью ε-засорения получаем:

$$\underline{P}(A)=n(A)/(N+s),\qquad \overline{P}(A)=(n(A)+s)/(N+s).$$

Предположим, что имеется упорядоченное множество значений i-го признака. Тогда можно построить нижнюю $\underline{Q}_i(x\mid y)$ и верхнюю $\overline{Q}_i(x\mid y)$ ФРВ на основе обучающей выборки следующим образом:

$$\underline{Q}_i\left(x_k^{(i)}\mid y\right)=\frac{\sum_{j=1}^{k}n(x_j^{(i)},y)}{n_y+s},\quad \overline{Q}_i\left(x_k^{(i)}\mid y\right)=\frac{\sum_{j=1}^{k}n(x_j^{(i)},y)+s}{n_y+s}.$$

Здесь $x_j^{(i)}$ – j-е значение i-го признака; значения $x_1^{(i)},\ldots,x_k^{(i)}$ составляют событие A; $n(x_j^{(i)},y)$ обозначает число наблюдений j-го значения i-го признака в n_y испытаниях, соответствующих классу y обучающей выборки.

Рассмотрим более детально петлевую функцию потерь, имеющую следующий вид: $L(f,y)=\max(0,1-yf)$. В случае выбора этой функции и при линейности функции f получаемая оптимизационная задача является линейной и может быть достаточно просто решена известными методами, например симплекс-методом.

Несмотря на линейность полученной задачи оптимизации, ее формальное представление также является сложной задачей, для которой необходима разработка специального программного обеспечения. Задача существенно усложняется, если рассматривать нелинейные функции f, что приводит к нелинейной оптимизации. Такие задачи практически невозможно решить.

Другой путь – использование стандартного программного инструментария, например метода опорных векторов (МОВ), который имеет большое число преимуществ. МОВ – один из наиболее мощных инструментов для вычисления оптимальных параметров w. Он достаточно прост, имеет простое геометрическое объяснение и обеспечивает единственное решение задачи оптимизации. Однако использование МОВ наталкивается на ряд препятствий, причи-

нами которых является сложность реализации программного обеспечения для решения оптимизационных задач. Поэтому предлагается использовать метод Монте-Карло для преобразования задач классификации к стандартной форме, которая позволяет применить стандартное программное обеспечение для вычисления оптимизационных параметров.

МОНТЕ-КАРЛО МЕТОД И СТАНДАРТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Для реализации минимаксной стратегии генерируются случайные значения признаков в соответствии с нижней и верхней ФРВ, определенными выше. На первом шаге генерируется случайное число r, имеющее равномерное распределение на интервале от 0 до 1. Затем это число сравнивается с нижней и верхней ФРВ. Если выполняется условие

$$\widetilde{Q_i}\left(x_{k-1}^{(i)}\middle|y\right) < r \le \widetilde{Q_i}\left(x_k^{(i)}\middle|y\right),$$

то сгенерированное значение i-го признака принимает значение k или $x_k^{(i)}$, если используется другая нумерация значений признака. Здесь $\widetilde{Q_i}\left(x_0^{(i)}\middle|y\right) = 0$ и $\widetilde{Q_i}\left(x_{M_i}^{(i)}\middle|y\right) = 1$, где M_i – число значений i-й входной переменной, т.е. число категорий i-го признака. Таким же образом генерируются случайные значения всех l признаков, с учетом знаков параметров $w_1, \ldots, w_l$.

В итоге K наблюдений генерируются в соответствии с робастной моделью ε -засорения дополнительно к имеющейся обучающей выборке или вместо нее. Полученная новая обучающая выборка содержит после генерации $n + K$ примеров.

Получив расширенную обучающую выборку, можно применить стандартное программное обеспечение, разработанное для МОВ в целях вычисления оптимальных параметров классификации, например LIBSVM (A Library for Support Vector Machines) [5, 6].

ВЫВОДЫ

В работе была выбрана модель классификации, использующая минимаксную стратегию, а также учитывающая возможно малое число наблюдений. Одной из главных особенностей модели является то, что она рассматривает множества ФР каждого признака, образованные робастной моделью ε-засорения. Это делает модель робастной к возможным различиям между обучающей выборкой и тестовыми данными и обеспечивает более осторожное принятие решений в условиях ограниченности обучающей выборки. Другой важной особенностью является то, что модель адаптирована для использования стандартного МОВ посредством генерации примеров методом Монте-Карло. Это дает возможность применения стандартного программного обеспечения для практической реализации процедуры классификации.

Список используемых источников

1. *Vapnik V.* Statistical Learning Theory / V. Vapnik. – New York: Wiley, 1998.
2. *Utkin L.V.* Regression analysis using the imprecise Bayesian normal model // Int. J. Data Analysis Techniques and Strategies. – 2010. – Vol. 2, № 4 – P. 356–372.
3. *Utkin L.V., Coolen F.P.A.* On reliability growth models using Kolmogorov-Smirnov bounds // International Journal of Performability Engineering. – 2011. – Vol. 7, № 1. – P. 5–19.
4. *Радченко С.Г.* Устойчивые методы оценивания статистических моделей: монография. – К.: ПП «Санспарель», 2005. – 504 с.

5. Chang Chih-Chung, Lin Chih-Jen. LIBSVM: a library for support vector machines, 2001. - URL: http://www.csie.ntu.edu.tw/ cjlin/libsvm (дата обращения: 02.03.2015).

6. *Frank A.* and *Asuncion A.* UCI machine learning repository, 2010. – URL: http://archive.ics.uci.edu/ml/index (дата обращения: 02.03.2015).

А.И. Данилов,
кандидат техн. наук, доцент;
А.А. Данилов

ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИСПЫТАНИЙ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ С ДВУМЯ ТИПАМИ ОШИБОК

Предлагаются динамические модели процессов (стратегий) испытаний программных средств с двумя типами ошибок, в которых предусматривается возможность задания вероятностей обнаружения ошибок при тестировании программ. Представлены размеченные графы таких стратегий и системы дифференциальных уравнений, приводится набор вероятностных показателей процессов испытаний и состояния программных средств, анализируются результаты вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: модель, программные средства, ошибка, вероятность, стратегия испытаний, граф.

ВВЕДЕНИЕ

Сокращение сроков и затрат на разработку программных средств (ПС) и обеспечение их качества (надежности) могут быть достигнуты не только за счет использования более совершенных технологий, сред разработки и средств автоматизации тестирования (отладки), но и за счет грамотного и эффективного планирования проведения работ и разделения ресурсов при разработке (испытании) ПС. Таким образом, планирование и распределение ресурсов программных проектов являются важными управленческими задачами. Задача планирования работ по проведению тестирования и отладки особенно актуальна при разработке сложных программных комплексов, к которым предъявляются высокие требования по надежности.

Для решения указанных задач могут быть использованы средства математического моделирования надежности ПС и процессов их разработки (испытаний). К настоящему времени создано большое количество различных моделей для оценивания и предсказания надежности ПС на различных этапах их жизненного цикла. Подробный обзор и описание таких моделей даны в [1–3]. С методической точки зрения эти модели надежности подразделяют на три класса: эмпирические, статистические и вероятностные. В рамках каждого класса модели надежности могут отличаться применимостью на различных фазах и стадиях жизненного цикла ПС и определяемыми показателями надежности.

Эмпирические модели являются наиболее простыми моделями. Они основаны на анализе накопленной информации о функционировании разработанных ПС (модель М. Холстеда, модель фирмы *IBM*). В то же время эмпирические модели обладают значительной погрешностью. Часто ошибки в расчетах различаются примерно на порядок в сравнении с фактическими результатами. Кроме того, эти модели оперируют только с понятием корректности ПС, определяемой числом программных ошибок, но не отражают динамики вычислительного процесса.

В статистических моделях оценку числа ошибок в ПС связывают с числом ошибок в них пропорциональными соотношениями, определяемыми простыми статистическими методами на основе интуитивных допущений. При этом не формулируется никаких предположений о законах распределения случайных величин, а источником информации является только исследуемое ПС (модели Миллса, Коркорэна, Бейзина, Б. Руднера и др.). Основная область их использования – завершающие стадии фазы разработки ПС.

В класс вероятностных моделей включены наиболее сложные модели, описывающие случайные процессы обнаружения и проявления программных дефектов или ошибок. Они основаны на описании случайных процессов появления ошибок и характеризуют процесс отладки. В состав параметров моделей входит исходное спрогнозированное число ошибок –

N, и поэтому модели описывают только свойство корректности. Обобщенная вероятностная модель основана на том, что в зависимости от времени отладки или испытаний скорость выявления ошибок уменьшается (модели Дж. Муса, Л.И. Волкова, Э. Нельсона, Джелинского – Моранды, Ямады – Охбы – Осаки, *S*-образные модели роста надежности и др.).

Следовательно, представленные модели в совокупности обладают рядом недостатков, ограничивающих их использование: модели не обладают достаточной общностью; описывают процессы обнаружения, но не устранения ошибок, что делает невозможным их применение собственно для планирования испытаний; модели, представленные в [2, 3], не учитывают вероятностный характер обнаружения ошибок и состоятельность (мощность) используемых тестов.

В настоящей статье предлагаются три динамических модели планирования испытаний (тестирования и исправления ошибок) и оценивания надежности программных средств, учитывающих вероятности обнаружения ошибок при тестировании программ и обеспечивающих повышение точности моделирования, сокращение сроков и ресурсов на проведение испытаний. Для задания исходных данных широко используются различные программные метрики, характеризующие программный продукт (его структуру, сложность, интерфейсы, факторы разработки и др.). Так, с точки зрения современного объектно-ориентированного программирования целесообразно использовать наборы метрик Чайдамбера – Кемерера и Бансия – Дэвиса [4–6] (длина наибольшего пути иерархии наследования, взвешенное количество методов класса, количество классов-наследников и др.). Значения метрик собираются из документов проектирования – диаграмм универсального языка моделирования *UML*. На основе полученных метрик решается задача классификации модулей. Так, вероятность наличия ошибки в модуле ω_i можно оценить с использованием логистической регрессии и выразить формулой [4, 5]

$$\omega_i = {}^{1}\!/_{(1 + e^{-(\beta_0 + \sum \beta_j x_j)}),} \qquad (1)$$

где x_j – значение метрики сложности;

β_j – коэффициент, который находится методом максимального правдоподобия.

По принятому в [2, 3] подходу модели надежности ПС строятся при делении их модулей на два класса – потенциально приводящих к отказу с вероятностью, равной единице, и надежные. Новизна предлагаемых моделей заключается в отказе от двоичной классификации модулей и использовании в них оценки надежности для каждого модуля.

Таким образом, объектом исследования в настоящей работе являются ПС на этапе проектирования, реализации или тестирования (отладки). Предметом исследования – модели надежности и планирования испытаний ПС.

МОДЕЛИ ИСПЫТАНИЙ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

В работе [7] рассмотрена нестационарная модель операции по испытанию отдельного программного модуля, содержащего единственную ошибку, которая с определенными вероятностями может быть найдена и исправлена, или может быть подтверждено ее отсутствие. На базе этой модели предложены четыре обобщенных модели процессов (стратегий) испытаний ПС, детальное описание и экспериментальное исследование из которых получила только одна (базовая) модель с одновременным поиском и исправлением ошибок (тестирование во время исправления ошибок не приостанавливается). В настоящей работе (в развитие работы [7]) предлагаются три нестационарные модели планирования испытаний и оценивания надежности программных средств с двумя типами (пакетами) ошибок, в которых предусматривается возможность задания вероятностей обнаружения ошибок при тестировании программ.

Характерная особенность процессов отладки ПС заключается в наличии в них ошибок, исправление которых является условием для отыскания и устранения последующих ошибок. Для моделирования таких процессов испытаний необходимо рассмотреть стратегии при наличии двух и более последовательных пакетов ошибок. Не нарушая общности рассуждений, ограничимся двумя типами (пакетами) ошибок. Обоснуем это допущение ссылками на источники. Так, в работах [1, 8] все дефекты в программах делятся на явные и неявные, а все ошибки делятся на первичные и вторичные ошибки. В работе [8] отмечается, что «*при отладке и тестировании программ обычно сначала обнаруживаются вторичные ошибки, т.е. последствия и результаты проявления некоторых исходных дефектов, которые следует квалифицировать как первичные ошибки (по причине вложенных аномалий). Локализация и корректировка первичных ошибок приводит к устранению ошибок, первоначально обнаруживаемых в результатах функционирования программ*».

В модели Ямада – Нарихиса – Охтера [1] ошибки также делятся на два вида. К ошибкам первого вида относятся легко обнаруживаемые ошибки. К ошибкам второго вида относятся трудно обнаруживаемые ошибки.

С точки зрения распределения времени между этапами тестирования и исправления найденных ошибок в пакетах рассмотрим три стратегии.

Стратегия 1. Тестирование и исправление ошибок в обоих пакетах идет параллельно (тестирование во время исправления ошибок не приостанавливается). Модель этой стратегии строится с использованием базовой модели, предложенной в [7].

Предполагается, что ПС могут содержать не более N ошибок, причем тестирование и исправление ошибок, имеющих номера с $N_x + 1$ до N (ошибок второго пакета), возможны только после устранения ошибки с номером N_x (всех ошибок первого блокирующего пакета).

Представим процессы обнаружения и исправления таких ошибок марковским процессом с дискретным множеством состояний и непрерывным временем. Диаграмма (размеченный граф) состояний и переходов этих процессов представлена на рис. 1.

Распределения временных интервалов между моментами обнаружения ошибок во время тестирования описываются экспоненциальными законами. Ошибки первого пакета обнаруживаются с интенсивностями $\{\omega_1\lambda_1, \omega_2\lambda_2, \dots, \omega_{N_x}\lambda_{N_x}\}$, зависящими от номера ошибки и значений соответствующих вероятностей их обнаружения. В случае подтверждения отсутствия ошибки осуществляется переход по соответствующим дугам с интенсивностями $\{(1 - -\omega_1)\lambda_1, (1 - \omega_2)\lambda_2, \dots, (1 - \omega_{N_x})\lambda_{N_x}\}$. Ошибки второго пакета обнаруживаются и не обнаруживаются с интенсивностями $\{\omega_{N_x+1}\lambda_{N_x+1}, \omega_{N_x+2}\lambda_{N_x+2}, \dots, \omega_N\lambda_N\}$ и $\{(1 - \omega_{N_x+1})\lambda_{N_x+1}, (1 - -\omega_{N_x+2})\lambda_{N_x+2}, \dots, (1 - \omega_N)\lambda_N\}$ соответственно. На рис. 1–3 используются обозначения $(1 - -\omega_i) = \overline{\omega}_i$.

Время устранения обнаруженных ошибок первого и второго пакетов распределено по экспоненциальному закону с интенсивностями μ_1 и μ_2 соответственно.

Состояния (i, j) такой системы в каждый момент времени будем характеризовать количеством обнаруженных (и еще не исправленных) ошибок i и числом устраненных ошибок (сумма отсутствующих и исправленных ошибок) j (i, j= $\overline{0, N_x}$ для пакета 1; $i = \overline{0, N - N_x}, j = \overline{N_x, N}$ для пакета 2). Вероятности пребывания системы в этих состояниях обозначим как $P_{i,j}(t)$.

Переход системы из состояния (i, j) в состояние (i+1, j) означает, что при тестировании была обнаружена (i+j+1)-я ошибка. Переход из состояния (i, j) в состояние (i, j+1) означает, что при тестировании подтверждено отсутствие ошибки. Переход системы из состояния (i, j) в состояние (i-1, j+1) означает, что была исправлена (j+1)-я обнаруженная ошибка.

В таком представлении общее число состояний системы вычисляется по формуле

$$N_c = ((N_x + 1)(N_x + 2) / 2 + (N - N_x + 1)(N - N_x + 2)/2) - 1. \quad (2)$$

Процессы в рассматриваемой марковской цепи описываются системой из N_c дифферен-

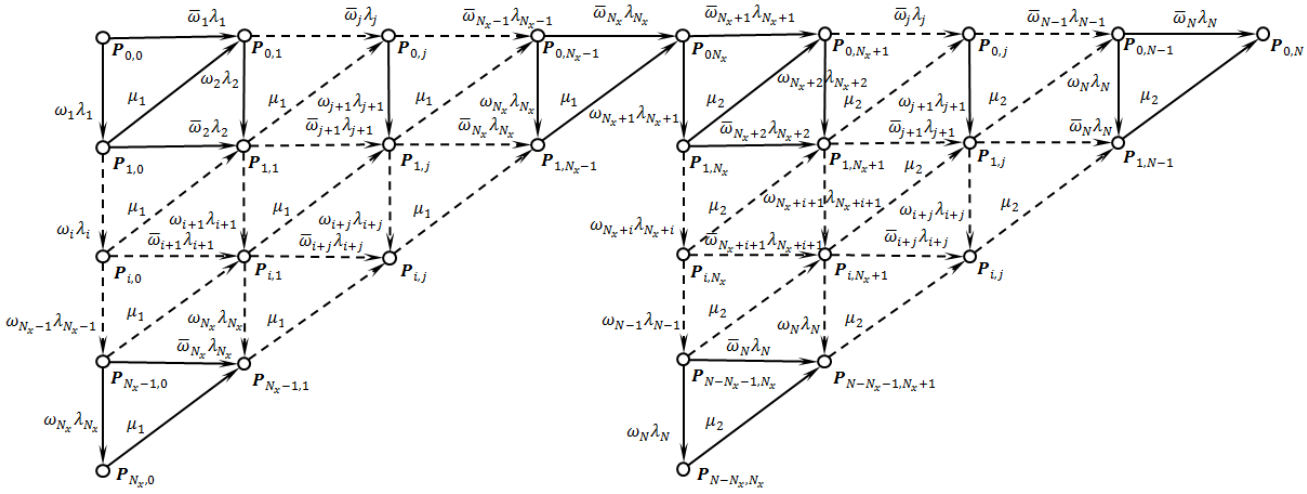


Рис. 1. Граф переходов для стратегии 1

циальных уравнений

$$\frac{dP_{i,j}(t)}{dt} = \delta(N_x + 1 - i - j)\,[\delta(j)[P_{i,j-1}(t)(1 - \omega_{i+j})\lambda_{i+j} +$$

$$+P_{i+1,j-1}(t)\mu_1] + \delta(i)\left[P_{i-1,j}(t)\omega_{i+j}\lambda_{i+j} - P_{i,j}(t)\mu_1\right] - \delta(N_x - i - j)P_{i,j}(t)\lambda_{i+j+1}] +$$

$$+\delta(j + 1 - N_x)\left[\delta(j - N_x)[P_{i,j-1}(t)(1 - \omega_{i+j})\lambda_{i+j} + P_{i+1,j-1}(t)\mu_2] +\right.$$

$$\left.+\delta(i)\left[P_{i-1,j}(t)\omega_{i+j}\lambda_{i+j} - P_{i,j}(t)\mu_2\right] - \delta(N - i - j)P_{i,j}(t)\lambda_{i+j+1}\right], \quad (3)$$

где $\delta(m) = \begin{cases} 1, \text{если } m > 0; \\ 0, \text{если } m \le 0; \end{cases}$ – функция Хэвисайда; $i = \overline{0, N_x}, j = \overline{0, N_x - i}$ для пакета 1;

$i = \overline{0, N - N_x}, j = \overline{N_x, N - i}$ для пакета 2.

Для каждого момента времени t должно соблюдаться условие нормировки вида

$$\sum_{i=0}^{N_x}\sum_{j=0}^{N_x - i} P_{i,j}(t) + \sum_{i=0}^{N - N_x}\sum_{j=N_x}^{N - i} P_{i,j}(t) - P_{0,N_x}(t) = 1. \quad (4)$$

Задав начальные условия к системе уравнений в виде

$$P_{i,j}(0) = \begin{cases} 1, \text{если } i + j = 0; \\ 0, \text{если } i + j \ne 0, \end{cases}$$

можно найти численное решение соответствующей задачи Коши для произвольного значения времени t.

Используя решение предложенной системы (3), можно получить ряд важных вероятностных показателей процесса испытаний и состояния ПС.

Вероятность $R_i(t)$ того, что в процессе испытаний было найдено ровно i ошибок, может быть вычислена по следующим формулам (сумма найденных, но неисправленных и устранённых ошибок):

– для ошибок пакета 1

$$R_i(t) = \sum_{j=0}^{i} P_{i-j,j}(t), \; i = \overline{0, N_x}; \quad (5)$$

– для ошибок пакета 2

$$R_i(t) = \sum_{j=N_x}^{i} P_{i-j,j}\,(t),\ i\ =\ \overline{N_x+1, N-N_x}. \quad (6)$$

Тогда математическое ожидание числа найденных ошибок $N_R(t)$ определяется по формуле

$$N_R(t) = \sum_{i=1}^{N} i\,R_i(t). \quad (7)$$

Вероятность $P_j(t)$ того, что в процессе испытаний было устранено (исправлено или отсутствовало) ровно j ошибок, может быть вычислена по следующей формуле:

– для ошибок пакета 1

$$P_j(t) = \sum_{i=0}^{N_x-j} P_{i,j}(t),\ j\ =\ \overline{0, N_x}\,; \quad (8)$$

– для ошибок пакета 2

$$P_j(t) = \sum_{i=0}^{N-j} P_{i,j}(t),\ j\ =\ \overline{N_x, N}\,. \quad (9)$$

Математическое ожидание числа устраненных ошибок $N_P(t)$ вычисляется по формуле

$$N_P(t) = \sum_{j=1}^{N} jP_j(t). \quad (10)$$

Соответственно среднее число $N_{RL}(t)$ ошибок, не обнаруженных к моменту времени t, и среднее число $N_{PL}(t)$ ошибок, не устранённых к моменту времени t, определяются по формулам:

$$N_{RL}(t) = N - N_R(t)\,, \quad (11)$$

$$N_{PL}(t) = N - N_P(t). \quad (12)$$

Вероятность безотказной работы $P(t,\ \tau)$ в течение интервала τ после испытаний в течение времени t определяется соотношением

$$P(t,\ \tau) = 1 - \sum_{j=0}^{N-1} R_j(t)\left(1 - e^{-\lambda_{i+1}\tau}\right). \quad (13)$$

Функция $F_i(t)$ распределения времени устранения не менее i ошибок

$$F_i(t) = \sum_{l=i}^{N} P_l(t)\,,\ i = \overline{0, N}. \quad (14)$$

Модель позволяет оценить время отладки $T_{N_{\text{тр}},P_{\text{тр}}}$, которое требуется, чтобы устранить $N_{\text{тр}}$ ошибок с заданной вероятностью $P_{\text{тр}}$ по формуле

$$T_{N_{\text{тр}},P_{\text{тр}}} = t \mid F_{N_{\text{тр}}}(t) \geq P_{\text{тр}}\,. \quad (15)$$

Стратегия 2. Этап тестирования продолжается, пока не будет обнаружено или определено отсутствие N_x первичных ошибок вместе взятых (ошибок первого пакета). После этого тестирование приостанавливается, обнаруженные первичные ошибки полностью исправляются с интенсивностями μ_1. Затем отладка продолжается для вторичных ошибок (ошибок второго пакета) с использованием стратегии 1, при которой обнаруженные ошибки исправляются последовательно по мере их выявления, причем поиск и устранение ошибок выполняются одновременно, а исправление найденных ошибок осуществляется с интенсивностями μ_2. Размеченный граф, моделирующий данную стратегию отладки, представлен на рис. 2. Количество состояний такой системы вычисляется по формуле (2).

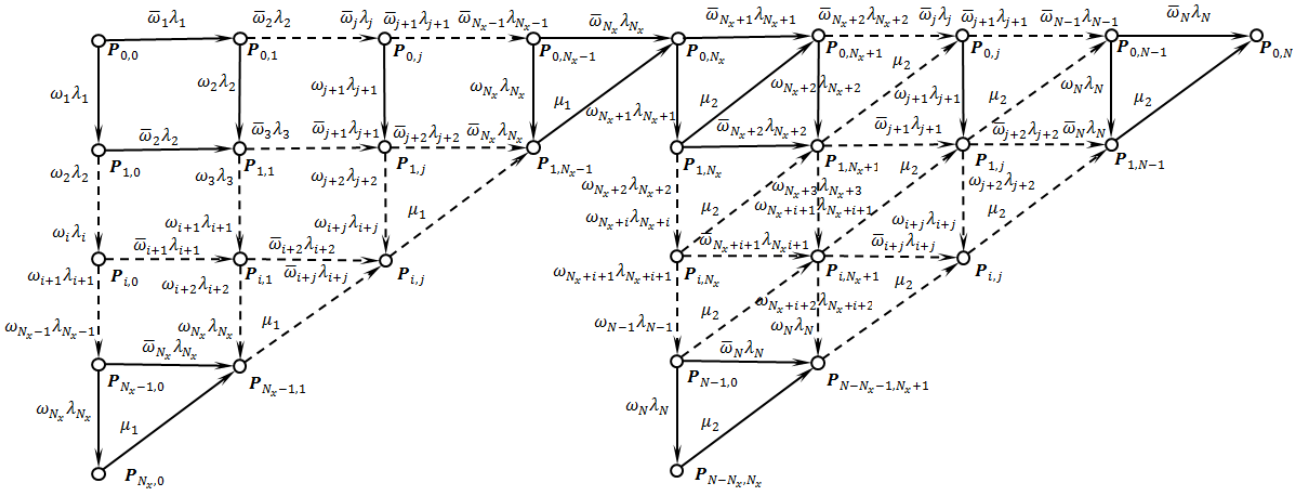


Рис. 2. Граф переходов для стратегии 2

Соответственно система дифференциальных уравнений (3) примет вид

$$\frac{dP_{i,j}(t)}{dt} = \delta(N_x + 1 - i - j)[\,\delta(i)P_{i-1,j}\,(t)\omega_{i+j}\lambda_{i+j}\, - \delta(N_x - i - j)P_{i,j}\,(t)\lambda_{i+j+1}\, +$$

$$+\delta(j)P_{i,j-1}\,(t)(1-\omega_{i+j})\lambda_{i+j} + \delta(i+j+1-N_x)[\delta(j)P_{i+1,j-1}(t)\mu_1 - \delta(i)P_{i,j}(t)\mu_1]] +$$

$$+\delta(j+1-N_x)\big[\delta(j-N_x)[P_{i,j-1}\,(t)(1-\omega_{i+j})\lambda_{i+j} + P_{i+1,j-1}\,(t)\mu_2] +$$

$$+\delta(i)\big[P_{i-1,j}\,(t)\omega_{i+j}\lambda_{i+j}\, - P_{i,j}(t)\mu_2\big] - \delta(N-i-j)P_{i,j}(t)\lambda_{i+j+1}\,]. \qquad (16)$$

Стратегия 3. Отладка для первичных ошибок (первого пакета) осуществляется с использованием стратегии 1, при которой обнаруженные ошибки исправляются последовательно по мере их выявления, причем поиск и устранение ошибок выполняются одновременно, а найденные ошибки исправляются с интенсивностями μ_1. Затем этап тестирования продолжается, пока не будут обнаружены или будет определено отсутствие $N - N_x$ вторичных ошибок вместе взятых (ошибок второго пакета). После этого тестирование приостанавливается, обнаруженные вторичные ошибки полностью исправляются с интенсивностями μ_2. Размеченный граф, моделирующий данную стратегию отладки, представлен на рис. 3. Количество состояний такой системы вычисляется по формуле (2).

Система дифференциальных уравнений, описывающих данный размеченный граф, в общем случае может быть представлена в виде

$$\frac{dP_{i,j}(t)}{dt} = \delta(N_x + 1 - i - j)\,[\delta(j)[P_{i,j-1}\,(t)\big(1-\omega_{i+j}\big)\lambda_{i+j}\, +$$

$$+P_{i+1,j-1}(t)\mu_1] + \delta(i)\big[P_{i-1,j}\,(t)\omega_{i+j}\lambda_{i+j}\, - P_{i,j}(t)\mu_1\big] -\, \delta(N_x - i - j)P_{i,j}\,(t)\lambda_{i+j+1}] +$$

$$+\delta(j+1-N_x)\big[\delta(j-N_x)P_{i,j-1}\,(t)(1-\omega_{i+j})\lambda_{i+j} +$$

$$+\delta(i+j+1-N)\big[\delta(N-N_x-i)P_{i+1,j-1}\,(t)\mu_2\,\big) - \delta(i)P_{i,j}(t)\mu_2] +$$

$$+\delta(i)P_{i-1,j}(t)\omega_{i+j}\lambda_{i+j}\, - \delta(N-i-j)P_{i,j}\,(t)\lambda_{i+j+1}\,]. \qquad (17)$$

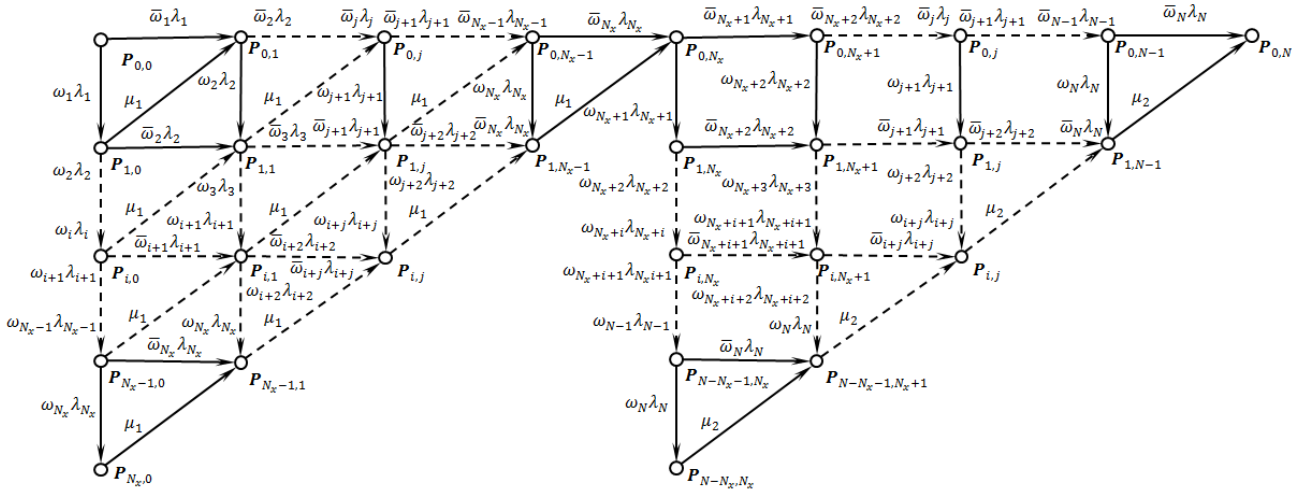


Рис. 3. Граф переходов для стратегии 3

Система дифференциальных уравнений, описывающих данный размеченный граф, в общем виде может быть представлена как

$$\frac{dP_{i,j}(t)}{dt} = \delta(N_x + 1 - i - j)\,[\delta(j)[P_{i,j-1}(t)(1 - \omega_{i+j})\lambda_{i+j} +$$

$$+P_{i+1,j-1}(t)\mu_1] + \delta(i)\left[P_{i-1,j}(t)\omega_{i+j}\lambda_{i+j} - P_{i,j}(t)\mu_1\right] - \delta(N_x - i - j)P_{i,j}(t)\lambda_{i+j+1}] +$$

$$+\delta(j + 1 - N_x)\left[\delta(j - N_x)P_{i,j-1}(t)(1 - \omega_{i+j})\lambda_{i+j} +\right.$$

$$+\delta(i + j + 1 - N)\left[\delta(N - N_x - i)P_{i+1,j-1}(t)\mu_2\right) - \delta(i)P_{i,j}(t)\mu_2] +$$

$$\left.+\delta(i)P_{i-1,j}(t)\omega_{i+j}\lambda_{i+j} - \delta(N - i - j)P_{i,j}(t)\lambda_{i+j+1}\right]. \qquad (18)$$

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Предложенные модели позволяют не только рассчитать показатели надежности ПС, представленные формулами (5)–(15) для каждой стратегии в отдельности, но и выработать практические рекомендации по организации испытаний программ с целью улучшения характеристик процессов поиска и устранения ошибок. Этого можно достичь путем сравнения и выбора лучшей для заданного показателя качества стратегии испытаний.

Для иллюстрации таких возможностей моделей приведем результаты расчета некоторых показателей процесса испытаний и состояния ПС. Для всех моделей (стратегий) расчет выполнен при следующих исходных данных. Предполагается, что изначально в ПС содержится $N = 10$ ошибок со средними длительностями интервалов времени тестирования соответственно равными: 0,3; 0,3; 0,3; 0,7; 0,7; 1; 2; 3; 5; 10 (в часах). Длительность интервала времени исправления первичнах ошибок (ошибок первого пакета) равна 3 ч, а вторичных ошибок (ошибок второго пакета) – 4 ч.

Значения вероятностей обнаружения ошибок ω_i, $i = \overline{0, N}$ указываются непосредственно на графиках, так как этот параметр для данной работы представляет наибольший интерес. На рис. 4–6 представлены графики функций распределения времени (ФРВ) устранения не менее i (i = 5, 10) ошибок для моделей (стратегий) 1, 2, 3 соответственно.

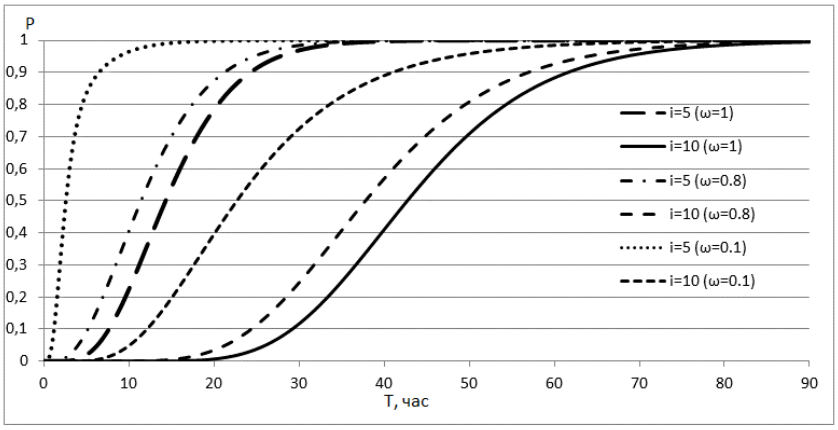


Рис. 4. ФРВ для стратегии 1

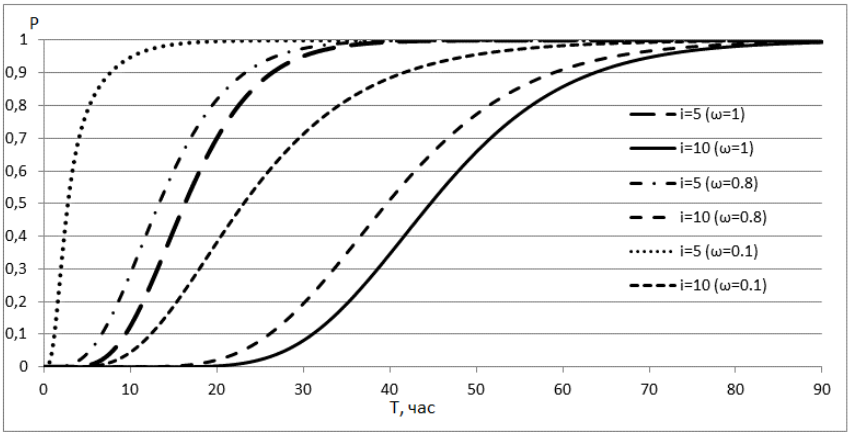


Рис. 5. ФРВ для стратегии 2

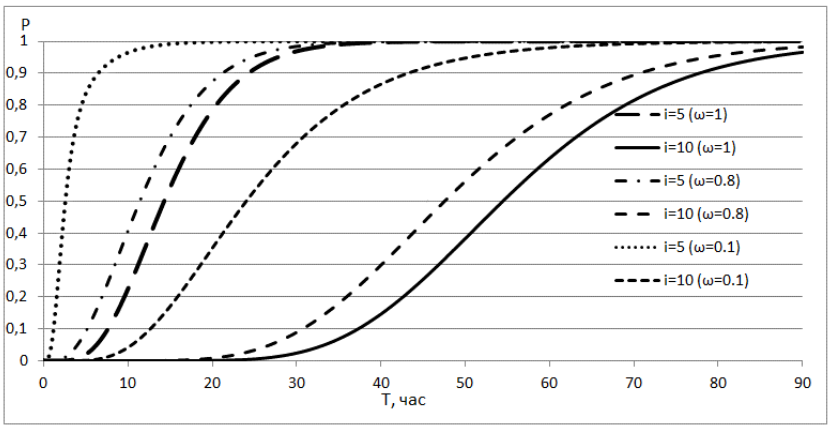


Рис .6. ФРВ для стратегии 3

Указанные графики функций дают возможность оценить время отладки $T_{N_{тр},P_{тр}}$, которое требуется для устранения заданного количества ошибок $N_{тр}$ с заданной вероятностью $P_{тр}$ по формуле (15).

На рис. 7–9 изображены графики для сравнения стратегий по среднему числу неустраненных ошибок при значениях вероятностей их обнаружения $\omega_i = 1; 0{,}8;\ 0{,}5,\ i = \overline{0, N}$ соответственно. Такие графики могут использоваться для расчета числа неустраненных в программе ошибок к моменту времен τ с момента начала отладки.

Представленные результаты дают наглядную картину, как соотносятся между собой рассмотренные стратегии отладки ПС по приведенным показателям и как влияют на эти показатели значения вероятностей обнаружения ошибок.

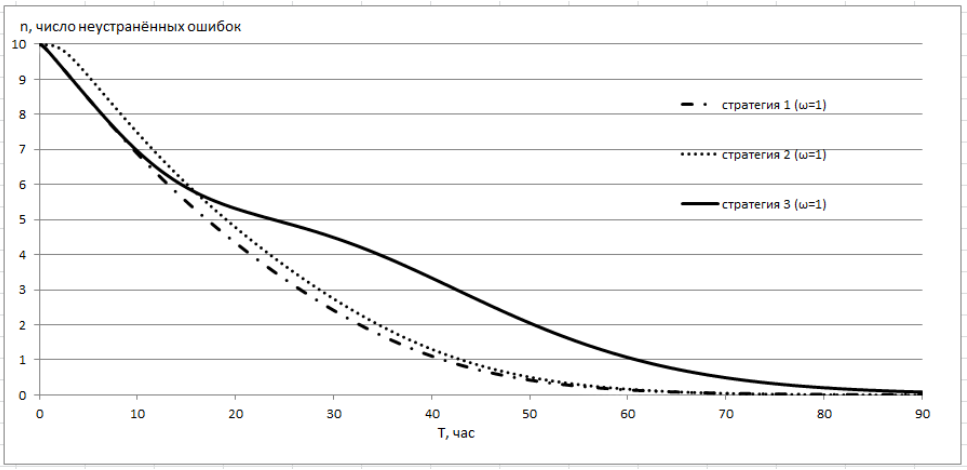


Рис. 7. Сравнение стратегий при ω=1

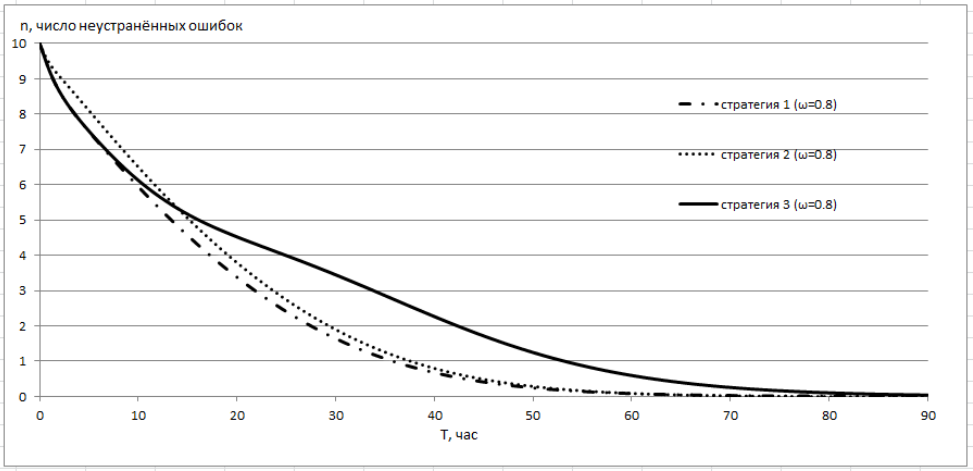


Рис. 8. Сравнение стратегий при ω= 0.8

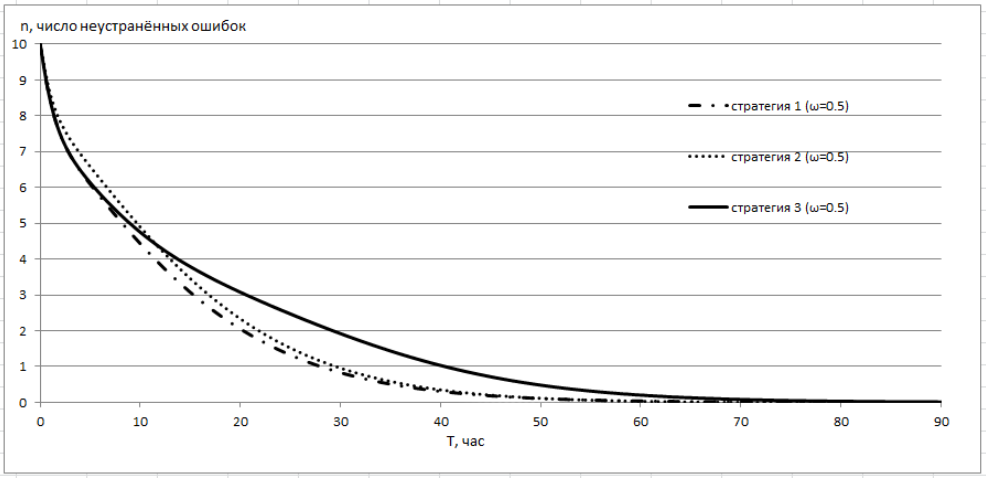


Рис. 9. Сравнение стратегий при ω= 0.5

Окончательный выбор модели для оценивания характеристик надежности исследуемых ПС производится как с учетом особенностей конкретной стадии их жизненного цикла, так и

с учётом вычислительных, экономических, временных, квалификационных и других возможностей пользователей и разработчиков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование в предложенных моделях оценки надежности для каждого модуля, с одной стороны, повышает точность моделирования процессов отладки программ, сокращает сроки и ресурсы на проведение испытаний. С другой стороны, достоинством предложенных моделей, в отличие от прочих моделей, является то, что они позволяют учитывать состоятельность (мощность) тестов, используемых для отладки ПС, т.е. предполагают различную степень доверия к различным тестам. Это, в свою очередь, позволяет искать пути повышения характеристик надежности ПС в процессе формирования тестов, обнаруживающих ошибки с высокой вероятностью. Предложенные модели целесообразно использовать для оценивания текущего уровня показателей процесса испытаний (состояния надежности) ПС и прогнозирования динамики их изменения в процессе испытаний на различных этапах жизненного цикла. На этапе проектирования могут быть получены первые приблизительные прогнозы показателей процесса испытаний и состояния ПС на основе рассчитанных к этому моменту характеристик сложности проекта и статистики о процессе обнаружения и исправления ошибок, найденных ранее при разработке подобных проектов. Такая оценка может быть уточнена позже на этапе испытания ПС, когда уже получены более точные данные о вероятностях обнаружения, распределении интервалов времени обнаружения и исправления программных ошибок.

Предложенные нестационарные модели позволяют выбрать наилучшую стратегию испытаний ПС исходя из наличия или отсутствия необходимых ресурсов, времени и статистических данных, а также распределить работы групп тестеров и разработчиков.

Список используемых источников

1. *Смагин В.А*. Основы теории надежности программного обеспечения: учебное пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2009. – 355 с.

2. *Бубнов В. П., Сафонов В. И.* Разработка динамических моделей нестационарных систем обслуживания. – СПб.: Лань, 1999. – 64 с.

3. *Бубнов В.П., Тырва А.В., Хомоненко А.Д.* Обоснование стратегии отладки программ на основе нестационарной модели надежности // Научно-технические ведомости Санкт–Петербургского государственного политехнического университета. – 2010. – № 2(97). – С. 85–92.

4. *Chidamber S.R., Kemerer C.F.* A metrics suite for object oriented design // IEEE Transactions on Software Engineering. – 1994. – Vol. 20, iss. 6. – P. 476–493.

5. *El-Emam K., Melo W., Machado J.C.* The prediction of faulty classes using object-oriented design metrics // Journal of Systems and Software.– 2001. – Vol. 56. – P. 63–75.

6. *Basili V.R., Briand L.C.* A validation of object-oriented design metrics as quality indicators // IEEE Transactions on Software Engineering. – 1996. – Vol. 22, iss. 10. – P. 751–761.

7. *Данилов А.И., Данилов А.А.* Нестационарные модели процессов испытаний программных средств в условиях риска // Вторая Всероссийская научно-практическая конференция «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники»: сб. статей. – СПб., 2014. – С. 199–202.

8. *Липаев В. В.* Надёжность программного обеспечения АСУ.– М.: Энергоиздат, 1981. – 247 с.

Е.В. Копкин,
доктор техн. наук;
А.Н. Кравцов,
кандидат техн. наук, доцент;
В.А. Чикуров,
кандидат техн. наук, доцент;

ВЫБОР ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ С УЧЕТОМ ИХ ЦЕННОСТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА

В статье рассматривается методика построения гибкой программы анализа технического состояния объекта, позволяющая при своем функционировании осуществлять выбор диагностических признаков (имеющих дискретную и непрерывную форму представления), обладающих наибольшей ценностью для распознавания конкретного технического состояния, в котором находится объект анализа.

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

Совершенствование основных тактико-технических характеристик и качественных показателей космических средств (КСр), таких, как сроки активного существования, длительность интервалов автономного функционирования и целевая производительность, невозможно без решения задач, связанных с анализом технического состояния (ТС) бортовых систем (БС). Эффективный анализ ТС позволяет значительно повысить оперативность и достоверность контроля КСр, диагностирования причин возникновения отказов и неисправностей БС, осуществлять своевременные управленческие действия по их парированию и недопущению лавинообразного развития аварийных ситуаций и катастроф, приводящих к существенному снижению целевых возможностей КСр.

Достоверность результатов анализа ТС БС зависит от различных свойств информации, используемой лицом, принимающим решения для выработки и реализации соответствующих действий, эффективность которых может быть в какой-то мере оценена. К настоящему времени разработаны алгоритмы оценивания синтаксических свойств информации. Попытки же формализованного представления семантических свойств информации сопряжены с определенными трудностями, связанными с субъективизмом при оценивании смысла и ценности информации.

Одним из первых, кто ввел понятие ценности (полезности) информации, был академик А.А. Харкевич [1]. Он определил ее как свойство информации изменять эффективность (результативность) инициированного ею целенаправленного процесса, в частности, процесса функционирования системы, в которой используется данная информация. Для таких систем определение ценной информации позволяет существенно сократить ее семантическую избыточность.

Наиболее общим показателем эффективности любых целенаправленных процессов является вероятность достижения цели. Поэтому мерой ценности информации может служить некоторая функция отношения вероятностей достижения цели после и до получения информации. В качестве такой функции А.А. Харкевич предложил использовать двоичный логарифм указанного отношения.

Обстоятельный анализ подходов к определению и вычислению ценности информации сделан в работе Г.П. Шанкина [2], который предложил аксиоматическое определение понятия «ценность информации» и разработал ряд математических моделей, позволяющих вы-

числять ценность информации, необходимой пользователю для достижения некоторой цели. Развиваемый в этой работе подход базируется на трудах Р.Л. Стратоновича и М.М. Бонгарда.

В работе [3] В.И. Корогодин предложил другой способ исчисления ценности информации, при котором ее величина изменяется от 0 до 1. Для некоторых приложений теории анализа технического состояния такой подход может представлять практический интерес.

Таким образом, ценность информации непосредственно связана с эффективностью информационных процессов и должна учитываться при создании систем, реализующих эти процессы. Для этого необходимы соответствующие методы определения ценности информации, осуществляемые в условиях неполноты, неопределенности и нечеткости исходных данных. Они должны обеспечивать получение интегральной оценки создаваемой системы по показателю ценности используемой в ней информации с тем, чтобы из всех возможных ее вариантов выбрать наилучший в смысле данного показателя.

В связи с повсеместным внедрением современных информационных систем и увеличением потоков циркулирующей в них информации, потребность в определении ее ценности резко возросла. Поскольку других методов оценивания, кроме указанных выше, к настоящему времени не предложено, то внедрение их в практических разработках является актуальной задачей, имеющей важное прикладное значение.

Сформулируем рассматриваемую задачу в рамках модели, приведенной в работе [4], в виде двух упорядоченных множеств, сохранив принятые в ней обозначения:

$$M_{\text{о}} = \left\langle \mathsf{S}, \Pi, L, \Phi^{*} \right\rangle; \tag{1}$$

$$M_{\text{п}} = \left\langle \mathsf{S}, \Omega, \mathsf{P}, \hat{\Pi} \right\rangle. \tag{2}$$

Первое из этих множеств является моделью объекта анализа, а второе – моделью процесса определения технического состояния объекта, то есть процесса анализа.

В выражениях (1) и (2) $\mathsf{S} = \left\{ S_i \mid i = \overline{1,m} \right\}$ – множество технических состояний анализируемого объекта; $\Pi = \left\{ \pi_j \mid j = \overline{1,n} \right\}$ – множество диагностических признаков; $L = \left\{ \ell_{ij} \mid i = \overline{1,m};\ j = \overline{1,n} \right\}$ – множество интервалов вещественной числовой оси, в котором каждый интервал $\ell_{ij} \in L$ характеризует возможный разброс измеренных значений y_j признака $\pi_j \in \Pi$ в i-м ТС; $\hat{\Pi} = \left\{ \hat{\pi}_j \mid j = \overline{1,n} \right\}$ – множество проверок заданных (или выбранных) диагностических признаков $\pi_j \in \Pi$, на котором все ТС $S_i \in \mathsf{S}$ попарно различимы.

Очевидно, что реальное значение y_j признака π_j не может выходить за пределы интервала ℓ_{ij} при условии, если объект находится в ТС $S_i \in \mathsf{S}$. Однако это не означает, что данное значение y_j должно находиться только в одном из интервалов ℓ_{ij}. Так как интервалы ℓ_{ij}, соответствующие одному и тому же признаку π_j, могут пересекаться в разных ТС S_i объекта, то значение y_j может попадать в несколько интервалов. Полагаем, что значения y_j равномерно распределены по интервалу ℓ_{ij} $\left(i = \overline{1,m}; j = \overline{1,n} \right)$.

В модели (1) задано также отображение $\Phi^{*} : \mathsf{S} \times \Pi \to L$. Это отображение может быть задано в виде так называемой таблицы состояний, элементами которой являются интервалы $\ell_{ij} \in L$.

Заданное в модели (2) множество $\Omega = \left\{ R \middle| R \subseteq \mathsf{S} \right\}$ представляет собой алгебру (или σ-алгебру) подмножеств множества S, в которой элементы *R* имеют смысл информационных состояний (ИС) моделируемого процесса анализа и каждый из них представляет собой под-

множество «подозреваемых» ТС, в одном из которых может находиться объект в момент анализа его состояния. Различают начальное ИС $R = \mathsf{S}$, промежуточные ИС $R \subset \mathsf{S}$ и конечные ИС $R = \{S_i\}$, $i = \overline{1,m}$. Каждое из конечных ИС содержит единственное «подозреваемое» ТС S_i, которое воспринимается как опознанное i-е техническое состояние объекта. В дальнейшем конечные ИС будем обозначать $R_i = \{S_i\}$, где $i = \overline{1,m}$, а все остальные (неконечные) — $R_k \subseteq \mathsf{S}$ $(k = m+1,\ m+2,\ \ldots)$.

На множестве Ω задана также вероятностная мера $\mathsf{P} = \left\{ P(R) \mid P(R) = \sum_{S_i \in R} P(S_i),\ R \in \Omega \right\}$.

Проверка признака π_j заключается в измерении его текущего значения y_j и выявлении принадлежности этого значения интервалу $\ell_{ij} \in L$ или нескольким интервалам, если они пересекаются.

Признак $\pi_j \in \Pi$ назовем допустимым (разрешенным для проверки) в ИС $R_k \subseteq \mathsf{S}$, если найдется хотя бы одна пара технических состояний $S_i, S_f \in R_k$, дизъюнктных по этому признаку, т.е. таких, которым соответствуют непересекающиеся интервалы $\ell_{ij}, \ell_{fj} \in L$. Проверку $\hat{\pi}_j$ допустимого признака π_j будем также называть допустимой. Подмножество допустимых признаков в ИС R_k обозначим через Π_k. Условие, по которому оно определяется, запишем в виде

$$\pi_j \in \Pi_k, \text{ если } \exists (S_i, S_f \in R_k) : (\ell_{ij} \cap \ell_{fj}) = \varnothing. \tag{3}$$

Для каждого признака $\pi_j \in \Pi_k$ выделим на вещественной оси ряд подынтервалов Δ_{kj}, на которых имеет место пересечение заданных интервалов ℓ_{ij}, соответствующих техническим состояниям $S_i \in R_k$, т.е.

$$\Delta_{kj} = \bigcap_{\{i\}} \ell_{ij}, \tag{4}$$

где $\{i\}$ – множество индексов взаимно пересекающихся интервалов. Оно может иметь единственный элемент, показывающий, что на данном подынтервале интервал ℓ_{ij} не пересекается с другими («пересекается с самим собой»).

Все выделенные подынтервалы Δ_{kj} будут отличаться друг от друга числом и составом пересекающихся на них интервалов ℓ_{ij} и иметь в общем случае разную длину.

Исходом проверки признака π_j в информационном состоянии R_k назовем событие, заключающееся в попадании измеренного значения y_j признака в один из подынтервалов Δ_{kj}. Очевидно, что число ω_{kj} возможных исходов проверки равно числу выделенных подынтервалов и что это число конечно. Каждому подынтервалу Δ_{kj} присвоим порядковый номер v, т.е. введем обозначение Δ_{kj}^{v}. Соответственно v-й исход проверки обозначим через $\hat{\pi}_j^{v}$, определив его как событие $y_j \in \Delta_{kj}^{v}$, $v = \overline{1,\omega_{kj}}$. Тогда проверку $\hat{\pi}_j$ можем формально представить как отображение

$$\hat{\pi}_j : R_k \to R_{kj}^{v}, \text{ если } y_j \in \Delta_{kj}^{v},\ v = \overline{1,\omega_{kj}}, \tag{5}$$

где $R_{kj}^{v} \subset R_k$ – подмножество, содержащее только те из технических состояний $S_i \in R_k$, которым соответствуют пересекающиеся интервалы $\ell_{ij} \in L$, т.е.

$$R_{kj}^{v} = \{S_i \in R_k \,|\, i: \bigcap_{\{i\}} \ell_{ij} \neq \varnothing\};$$
$$\Delta_{kj}^{v} = \bigcap_{\{i: S_i \in R_{kj}^{v}\}} \ell_{ij}. \qquad (6)$$

Таким образом, при v-м исходе проверки $\hat{\pi}_j$ из ИС R_k получается новое ИС R_{kj}^{v}, содержащее меньшее число «подозреваемых» ТС.

Обозначим через $P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right)$ вероятность *v*-го исхода проверки признака π_j в ИС $R_k \subseteq \mathsf{S}$, т.е. вероятность попадания измеренного значения y_j в подынтервал Δ_{kj}^{v}. Эта вероятность вычисляется по формуле

$$P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right) = P\left(y_j \in \Delta_{kj}^{v}\right) = \frac{|\Delta_{kj}^{v}|}{|\nabla_{kj}|}, \qquad (7)$$

где $\left|\Delta_{kj}^{v}\right| = \left|\bigcap_{\left\{i: S_i \in R_{kj}^{v}\right\}} l_{ij}\right|$ и $\left|\nabla_{kj}\right| = \left|\bigcup_{\{i: S_i \in R_k\}} l_{ij}\right|$ – длина пересечения и длина объединения интервалов соответственно.

В рамках вероятностно-динамической модели (2) реализуется последовательная процедура анализа ТС объекта. Основными ее элементами являются ИС $R \in \Omega$, каждое из которых имеет свою вероятностную меру $P(R)$. Под действием проверок $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ производится последовательный переход от одного ИС к другому, пока не будет определено ТС, в котором находится объект.

Сущность выбора наиболее «ценных» диагностических признаков заключается в том, что в начальном ИС $R_k = \mathsf{S}$ и в каждом из последующих состояний $R_k \subset \mathsf{S}$ выбирается для проверки такой признак $\pi_j \in \Pi$, которому соответствует максимальное значение ценности получаемой информации.

Описанная модель справедлива для наиболее общей формы представления диагностических признаков – непрерывной (в виде интервалов на вещественной числовой оси). Между тем, достаточно большое число приложений в теории анализа ТС используют дискретную форму представления признаков (бинарную или целочисленную).

Для таких приложений вместо модели (1) будет использоваться модель объекта анализа в виде упорядоченного множества

$$M_{\text{o}} = \langle \mathsf{S}, \Pi, \mathsf{S}, P, \Phi \rangle. \qquad (8)$$

Элементами модели (8), кроме уже указанных, являются:

$\mathsf{S} = \left\{s_{ij} \,|\, i = \overline{1,m};\ j = \overline{1,n}\right\}$ – множество модельных признаков, каждый из которых означает наиболее вероятный исход проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ в ТС $S_i \in \mathsf{S}$;

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

$\Phi: \mathbf{S} \times \Pi \to \mathbf{S}$ – отображение, при котором $s_{ij} = \Phi(S_i, \hat{\pi}_j)$, $S_i \in \mathbf{S}$, $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$. Каждое ТС $S_i = [s_{i1}, s_{i2}, \ldots, s_{in}]^{\mathrm{T}}$ при фиксированном i есть подмножество множества $\mathbf{S}$, т.е. $S_i \subset \mathbf{S}$. Для всех $i = \overline{1,m}$ подмножество $S_i \subset \mathbf{S}$ образует множество $\mathbf{S}$ в виде таблицы, строками которой являются ТС $S_i \in \mathbf{S}$ ($i = \overline{1,m}$), а столбцами – проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$, ($j = \overline{1,n}$).

В рамках модели (8) условие (3) для выбора допустимых для проверки признаков преобразуется к виду

$$\pi_j \in \Pi_k, \text{ если } \exists\left(S_i, S_f \in R_k\right): \left(s_{ij} \neq s_{fj}\right), \tag{9}$$

а выражения (5) и (6) можно представить в виде

$$\hat{\pi}_j : R_k \to R_{kj}^{v} \quad (v = \overline{1, \omega_{kj}}). \tag{10}$$

Здесь $R_{kj}^{v} = \{S_i \mid S_i \in R_k, \pi_j = s_{ij}^{v}\}$, $s_{ij}^{v} \in S_j^{v}$, где S_j^{v} ($v = \overline{1, \omega_{kj}}$) – это выделенные из множества модельных признаков $s_{ij} \in \mathbf{S}$, относящихся к конкретному признаку $\pi_j \in \Pi$, ω_{kj} подмножеств, в рамках которых признаки s_{ij} совпадают; s_{ij}^{v} – это обозначение признаков $s_{ij} \in S_j^{v}$.

При использовании дискретных признаков формулу (7) для определения вероятности *v*-го исхода проверки признака π_j в ИС $R_k \subseteq \mathbf{S}$ можно записать в виде

$$P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right) = \frac{\sum\limits_{S_i \in R_{kj}^{v}} P(S_i)}{\sum\limits_{S_i \in R_k} P(S_i)}, \quad v = \overline{1, \omega_{kj}}. \tag{11}$$

Выбор наиболее «ценных» диагностических признаков осуществляется в процессе функционирования гибкой программы анализа технического состояния объекта, которую будем представлять в виде ориентированного графа G, вершинами которого обозначаются ИС процесса анализа, а дугами – исходы проверок признаков в этих состояниях. Граф G состоит из ветвей $G_r \in U$ (где *r* – порядковый номер ветви, *U* – множество всех ветвей), каждая из которых приводит к распознаванию конкретного ТС S_i, $i = \overline{1, m}$, имеет одну начальную и *m* конечных вершин – по числу возможных ТС объекта. Каждая из *m* конечных вершин соответствует опознанному ТС объекта.

Рассмотрим меру ценности информации, предложенную В.И. Корогодиным в работе [3], и модифицируем ее для решения задачи выбора наиболее «ценных» диагностических признаков. Эта мера описывается формулой

$$C = \frac{P - p}{1 - p}, \tag{12}$$

где *P* и *p* представляют собой вероятности достижения цели при использовании получаемой информации и без ее использования соответственно.

Информационное состояние $R_{kj}^{v} \subset R_k$, полученное в результате проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$, выполненной в ИС R_k, включает в свой состав в общем случае несколько предполагаемых ТС $S_i \in \mathbf{S}$, в одном из которых может находиться объект анализа.

Для распознавания этих ТС необходима дополнительная информация, которая обладает некоторой ценностью. Эта информация может быть получена в результате выполнения последующих проверок.

Поскольку измеренные значения y_j диагностических признаков $\pi_j \in \Pi$ равномерно распределены по интервалам $\ell_{ij} \in L$, то можно предположить, что для ИС $R_{kj}^{v} \subset R_k$, состоящего из нескольких ТС S_i, вероятности этих ТС одинаковые.

Введем обозначение $\left(R_{kj}^{v}\right)^{(\tau)}$, где τ — количество элементов, входящих в состав ИС R_{kj}^{v}.

Тогда в качестве вероятности P в формуле (12) можно использовать вероятность события, заключающегося в том, что техническим состоянием объекта является $S_i \in \left(R_{kj}^{v}\right)^{(\tau)}$. Обозначим эту вероятность через P_{kj}^{i} и будем вычислять ее по формуле

$$P_{kj}^{i} = P\left(S_i \mid S_i \in \left(R_{kj}^{v}\right)^{(\tau)}\right) = \frac{1}{\tau}. \tag{13}$$

Если ИС R_{kj}^{v} состоит только из одного ТС $S_i \in \mathbf{S}$, т.е. $R_{kj}^{v} = \left(R_{kj}^{v}\right)^{(1)} = R_i = \{S_i\}$, то цель процесса анализа (распознавание конкретного ТС объекта) считается достигнутой, и в соответствии с формулой (13) вероятность P_{kj}^{i} становится равной единице.

Если диагностические признаки представлены в дискретной форме, то в качестве вероятности P в формуле (12) можно использовать уточненную вероятность P_i ТС $S_i \in R_{kj}^{v}$, определяемую по формуле

$$P_i = \frac{P(S_i)}{\sum\limits_{S_i \in R_{kj}^{v}} P(S_i)}. \tag{14}$$

Целью процесса анализа является распознавание конкретного ТС $S_i \in \mathbf{S}$, в котором находится анализируемый объект. Следовательно, в качестве вероятности p в формуле (12) можно использовать вероятность того, что техническим состоянием объекта является $S_i \in R_k$. Обозначим эту вероятность через $P_{kj}(S_i)$.

При использовании диагностических признаков в непрерывной форме представления эти вероятности неизвестны, и их необходимо вычислять. Кроме того, эти вероятности будут различными в зависимости от того, какая из проверок $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ будет выполнена в ИС R_k.

Поскольку при непрерывной форме представления диагностических признаков в конечное ИС $R_i = \{S_i\}, i = \overline{1, m}$ могут приходить несколько ветвей $G_r \in U$ программы анализа, то вероятность $P_{kj}(S_i)$ можно вычислить по формуле

$$P_{kj}(S_i) = P\left(S_i \mid S_i \in R_k\right) = \sum_{v=1}^{\omega_{kj}} \frac{1}{\tau} P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right), S_i \in \left(R_{kj}^{v}\right)^{(\tau)}. \tag{15}$$

Для дискретных признаков в качестве вероятности p в формуле (12) можно использовать вероятность $P(S_i)$.

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

$$V_{kj}^{v}\left(S_i\right)=\frac{P_{kj}^{i}-P_{kj}\left(S_i\right)}{1-P_{kj}\left(S_i\right)}. \quad (16)$$

Для дискретных признаков формулу (16) можно записать в виде

$$V_{kj}^{v}\left(S_i\right)=\frac{P_i-P\left(S_i\right)}{1-P\left(S_i\right)}. \quad (17)$$

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

$$V_{kj}^{v}=\sum_{S_i\in R_{kj}^{v}} P_{kj}^{i}\cdot V_{kj}^{v}\left(S_i\right). \quad (18)$$

Для дискретных признаков формулу (18) можно записать в виде

$$V_{kj}^{v}=\sum_{S_i\in R_{kj}^{v}} P_i\cdot V_{kj}^{v}\left(S_i\right). \quad (19)$$

Если ИС R_{kj}^{v} является конечным, то вычисления по формулам (16)–(19) дают следующие результаты: $V_{kj}^{v}\left(S_i\right)=1;\ V_{kj}^{v}=1.$

Для вычисления ценности информации $V_k\left(\hat{\pi}_j\right)$, получаемой при выполнении проверки $\hat{\pi}_j\in\hat{\Pi}$ в ИС R_k, необходимо усреднить результаты, полученные при вычислениях по формуле (18) или (19), по вероятностям реализации исходов этой проверки, используя формулу

$$V_k\left(\hat{\pi}_j\right)=\sum_{v=1}^{\omega_{kj}} P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right)\cdot V_{kj}^{v}. \quad (20)$$

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

На каждом шаге функционирования программы анализа выбирается наилучший для проверки признак согласно условию

$$\pi_j=\arg\max_{\pi_s\in\Pi_k}\left\{V_k\left(\hat{\pi}_s\right)\right\}, \quad (21)$$

где Π_k – подмножество допустимых для проверки признаков $\pi_j\in\Pi$, определяемое из условия (3) или (9).

Построение программы анализа ТС объекта заключается в выполнении ряда последовательных шагов.

Ш а г 1.

1.1. В начальном ИС R_k = S выполним проверку признака $\pi_j\in\Pi_k$ (в начальном ИС все проверки являются допустимыми). Согласно отображению (5) получим ряд новых ИС

$R_{kj}^{v}, v=\overline{1, \omega_{kj}}$, а по формуле (7) определим вероятности $P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right)$ исходов этой проверки. Для дискретных признаков вместо формулы (7) будет использоваться формула (11).

1.2. По формуле (15) определим вероятности $P_{kj}\left(S_i\right)$ для каждого из ТС $S_i \in R_k$. Для дискретных признаков это будут заданные вероятности $P\left(S_i\right)$.

1.3. Для конечных исходов $R_{kj}^{v}=R_i=\left\{S_i\right\}$ положим:

$$P_{kj}^{i}=1 \text{ (для дискретных признаков } P_i=1\text{)};\ V_{kj}^{v}\left(S_i\right)=1;\ V_{kj}^{v}=1.$$

1.4. Для неконечных ИС $R_{kj}^{v} \neq R_i$ по формуле (13) определим вероятности P_{kj}^{i}, по формуле (16) – значения $V_{kj}^{v}\left(S_i\right)$, а по формуле (18) – значения V_{kj}^{v}. Для дискретных признаков будем использовать формулы (14), (17) и (19) соответственно.

Шаг 2. По формуле (20) вычислим ценность $V_k\left(\hat{\pi}_j\right)$ проверки $\hat{\pi}_j$, выполненной в начальном состоянии R_k = S.

Шаг 3. Выполним операции, предусмотренные шагами 1 и 2 для оставшихся проверок, и получим для каждой из них значение показателя ценности $V_k\left(\hat{\pi}_j\right)$.

Шаг 4. По условию (21) выберем для проверки в ИС R_k = S признак, обладающий максимальной «ценностью».

Шаг 5. Рассмотрим последовательно все неконечные ИС $R_{kj}^{v}, v=\overline{1, \omega_{kj}}$, полученные в результате выполнения проверки признака, выбранного на шаге 4. Согласно условию (3) или (9) определим для каждого из этих ИС подмножества Π_k допустимых для проверки признаков.

Шаг 6. Выполним для ИС, рассмотренных на шаге 5, операции, предусмотренные шагами 1, 2 и 3; для каждой из допустимых проверок получим значение показателя $V_k\left(\hat{\pi}_j\right)$ и выберем признак с максимальной «ценностью».

Шаг 7. Описанную процедуру продолжим до получения всех конечных ИС $R_i=\left\{S_i\right\}, i=\overline{1, m}$.

В результате получим подмножества диагностических признаков $\Pi_i \in \Pi$, упорядоченных по очередности их проверки, для распознавания каждого из возможных ТС объекта, и обладающих максимальной «ценностью».

Список используемых источников

1. *Харкевич А. А.* О ценности информации. Проблемы кибернетики. Вып. 4. – М.: Физматгиз, 1960. – С. 53–72.

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

3. *Корогодин В.И.,* Корогодина *В.Л.* Информация как основа жизни. – Дубна: Издательский центр «Феникс», 2000. – 208 с.

1. 4. Теоретические основы и методы оптимизации анализа технического состояния сложных систем: монография / В.В. Мышко, А.Н. Кравцов, Е.В. Копкин, В.А. Чикуров. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013.– 303 с.

Ю.С. Мануйлов,
доктор техн. наук;
А.Н. Павлов,
доктор техн. наук;
С.А. Осипенко,
кандидат техн. наук;
Д.А. Павлов

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПЛАНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ОПЕРАЦИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В ДИНАМИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ

Данная статья посвящена особенностям разработки математической модели планирования операций информационного взаимодействия элементов и подсистем сложных объектов (СлО) в динамически изменяющихся условиях. Методология проведения исследования представляет собой сравнительный анализ результатов оценивания потенциально возможной производительности системы информационного взаимодействия сложных объектов, вычисляемой исходя из объемов обработанной и переданной потребителю информации при планировании комплекса операций информационного взаимодействия на протяжении всего участка (интервала) изменения структуры, а также на отдельных временных интервалах, характеризующихся постоянством структуры информационного взаимодействия.

Ключевые слова: планирование, сложные объекты, структурная динамика, комплекс операций, информационное взаимодействие.

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции развития сложных технических систем предполагают дальнейшее углубление унификации аппаратно-программной составляющей их элементов и подсистем, что, в свою очередь, обуславливает необходимость выхода на более абстрактный уровень представления СлО в процессе проведения моделирования в рамках системно-кибернетического подхода [1]. Таким образом, элементы и подсистемы СлО, взаимосвязи между ними, а также эмерджентные свойства [2] СлО необходимо представлять в агрегированном виде (с относительно низкой степенью детализации) для получения возможности применять существующий и разрабатываемый научно-теоретический аппарат для различных классов СлО без жесткой привязки к особенностям их целевого функционирования. Это позволяет рассматривать структуру информационного взаимодействия элементов и подсистем СлО в качестве единого информационного поля с обменом разнородными информационными потоками, а элементы и подсистемы СлО, выполняющие типовые задачи, имеет смысл рассматривать в качестве унифицированных функциональных элементов (ФЭ).

В общем виде связи между операциями, выполняемыми каждым ФЭ, можно представить в виде диаграммы их обобщенных состояний (рис. 1): поступающий необработанный информационный поток определенного типа можно обработать или хранить в ЗУ; в случае обработки информации ее можно передать или также хранить в ЗУ; в случае хранения – в дальнейшем обработать или передать.

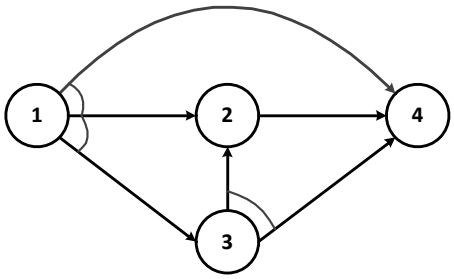


Рис. 1. Диаграмма фазовых состояний ФЭ СлО:
1 – операция приема информационного потока; 2 – операция обработки потока;
3 – операция хранения потока; 4 – операция передачи потока

Вместе с тем необходимо учитывать, что структура информационного взаимодействия ФЭ СлО обладает рядом особенностей, вносящих значительные сложности в процесс планирования ее реконфигурации: динамику структуры информационного взаимодействия, неоднородность информационных потоков, особенности целевого применения, функционирование в рамках жестких временных, энергетических и иных ограничений и т.д.

Следует отметить и тот факт, что на эффективность функционирования СлО существенно влияет работа контура управления, причем в различных условиях обстановки необходимо осуществлять операции, заранее неизвестно, какие именно и в каких временных промежутках. Поэтому для рационального планирования требуется введение соответствующих критериев эффективности.

Таким образом, решение задачи планирования структурно-функциональной реконфигурации структуры информационного взаимодействия ФЭ СлО с целью повышения эффективности целевого функционирования – это сложная многокритериальная задача. Основным аспектом ее сложности является динамически изменяющаяся структура информационного взаимодействия СлО, а также наличие вытекающих из этой динамики жестких временных ограничений на выполнение необходимых операций информационного взаимодействия.

Особое значение указанная задача имеет для высоконагруженных СлО ввиду ряда причин: условия функционирования СлО могут характеризоваться скоротечностью изменения; информация, циркулирующая между ФЭ СлО, имеет колоссальные объемы, что, в свою очередь, определяет необходимость осуществления перераспределения процессов обработки информации и последующей ее передачи потребителю между ФЭ; требуется построение плана, обеспечивающего эффективное функционирование СлО, но в то же время индифферентного относительно порядка перераспределения операций информационного взаимодействия между своими ФЭ, так как потребителя информации, в конечном счете, не интересует, каким именно образом эта информация была обработана и доставлена.

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФЭ СлО

Формализацию постановки рассматриваемой задачи необходимо начать с описания процесса информационного взаимодействия на математическом уровне [3], что может быть осуществлено при помощи составления системы дифференциальных уравнений. Для этого рассмотрим информационный поток ρ типа в контуре *i*-го ФЭ СлО в общем виде при некотором варианте χ динамики изменения структуры, определив его с помощью следующих уравнений:

$$\dot{x}^{+}_{\chi i\rho}(t) - \dot{x}^{-}_{\chi i\rho}(t) - \dot{y}_{\chi i\rho}(t) - \dot{z}_{\chi i\rho}(t) = 0,\ i \in N_{\chi} = \{1,2,...,n_{\chi}\}, \quad (1)$$

$$\dot{x}^{+}_{\chi i\rho}(t) = \psi_{\chi i\rho}(t) + \sum_{j=1}^{n_{\chi}} e_{\chi ji}(t) \cdot \omega_{\chi ji\rho}(t) \cdot u_{\chi ji\rho}(t),\ i \in N_{\chi}, \quad (2)$$

$$\dot{x}^{-}_{\chi i\rho}(t) = \varphi_{\chi i\rho}(t) \cdot \vartheta_{\chi i\rho}(t) + \sum_{j=1}^{n_\chi} e_{\chi ij}(t) \cdot \omega_{\chi ij\rho}(t) \cdot u_{\chi ij\rho}(t),\ i \in N_\chi . \quad (3)$$

Уравнение (1) является балансным. Вся получаемая i-м ФЭ информация ρ типа передается, обрабатывается и хранится. Уравнение (2) характеризует входной информационный поток, где $\psi_{\chi i\rho}(t)$ – интенсивность поступления потока ρ типа в i-й ФЭ, $e_{\chi ij}(t) \in \{0,1\}$ – потенциал доступности между i-м и j-м ФЭ, $\omega_{\chi ij\rho}(t)$ – интенсивность передачи информации между i-м и j-м ФЭ, $u_{\chi ij\rho}(t) \in \{0,1\}$ – управление передачей потока ρ типа. Уравнение (3) описывает выходной информационный поток: $\varphi_{\chi i\rho}(t)$ – интенсивность обработки потока в i-м ФЭ, $\vartheta_{\chi i\rho}(t)$ – управление обработкой информации в i-м ФЭ.

При этом ограничения на возможные управления и состояния имеют следующий вид:

$$0 \le y_{\chi i\rho}(t) \le V_{\chi i\rho}\ \ \forall i \in N_\chi, \forall \rho \in P, t \in (t_0, t_f],$$

$$u_{\chi ij\rho}(t) \in \{0,1\},\ \vartheta_{\chi i\rho}(t) \in \{0,1\}\ \forall i, j \in N_\chi,\ \rho \in P, t \in (t_0, t_f],$$

$$z_{\chi i\rho}(t) \ge 0,\ \dot{z}_{\chi i\rho}(t) \ge 0\ \forall i \in N_\chi, \rho \in P, t \in (t_0, t_f].$$

Здесь $y_{\chi i\rho}(t)$ и $V_{\chi i\rho}$ – текущий и максимальный объемы хранимой информации в i-м ФЭ;

$z_{\chi i\rho}(t)$ – объем потерянной информации в i-м ФЭ.

Краевые условия выглядят следующим образом:

$$y_{\chi i\rho}(t_0) = z_{\chi i\rho}(t_0) = 0\ \forall i \in N_\chi,\ \ y_{\chi i\rho}(t_f) \ge 0,\ z_{\chi i\rho}(t_f) \ge 0\ \forall i \in N_\chi.$$

Здесь t_0 и t_f – начальный и конечный моменты рассматриваемого временного интервала.

Для оценки эффективности функционирования ФЭ СлО введем следующие показатели:

$J_{\chi 1} = \int_{t_0}^{t_f} \sum_{\rho=1}^{p} \sum_{i=1}^{n_\chi} \dot{z}_{\chi i\rho}(t)\, dt$; – суммарный объем потерянной информации;

$J_{\chi 2} = \int_{t_0}^{t_f} \sum_{\rho=1}^{p} \sum_{i=1}^{n_\chi} \varphi_{\chi i\rho}(t) \cdot \vartheta_{\chi i\rho}(t)\, dt$; – суммарный объем обработанной информации;

$J_{\chi 3} = \int_{t_0}^{t_f} \sum_{\rho=1}^{p} \sum_{i=1}^{n_\chi} \dot{y}_{\chi i\rho}(t)\, dt$; – суммарный объем сохраненной информации.

СТАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФЭ СлО

Каждый вариант χ динамики изменения структуры разбивает интервал времени $T = [t_0, t_f]$ на некоторое число L_χ подынтервалов $T = \{[t_0, t_1], (t_1, t_2], ..., (t_{k-1}, t_k], ..., (t_{L_\chi - 1}, t_{L_\chi} = t_f]\}$ постоянства структуры. В каждом подынтервале $T_k = (t_{k-1}, t_k]$ структура находится в неизменном состоянии.

Данное предположение позволяет свести многокритериальную задачу оптимального управления с разрывными правыми частями к однокритериальной статической модели информационного взаимодействия [4, 5]

$$\alpha_1 \sum_{\rho=1}^{p} \lambda_\rho \sum_{i=1}^{n_\chi} \sum_{k=1}^{L_\chi} g_{\chi i\rho k} + \alpha_2 \sum_{\rho=1}^{p} \sum_{i=1}^{n_\chi} \sum_{k=1}^{L_\chi} y_{\chi i\rho k} \to \max, \quad (4)$$

$$\Big(\sum_{j \in N^{+}_{\chi i}} x_{\chi ij\rho k} - \sum_{j \in N^{-}_{\chi i}} x_{\chi ji\rho k}\Big) + (y_{\chi i\rho k} - y_{\chi i\rho (k-1)}) + g_{\chi i\rho k} + z_{\chi i\rho k} = I_{\chi i\rho k}, \quad (5a)$$

$$i \in N_\chi, \rho \in P, k = 1,..., L_\chi, \quad (5б)$$

$$y_{\chi i \rho k} + \eta_{\chi i k} = V_{\chi i}, i \in N_\chi, \rho \in \mathrm{P}, k = 1,..., L_\chi, \quad (6)$$

$$0 \le x_{\chi i j \rho k} \le \omega_{\chi i j \rho k} \cdot (t_k - t_{k-1}),\ 0 \le g_{\chi i \rho k} \le \varphi_{\chi i \rho k} \cdot (t_k - t_{k-1}),\ i \in N_\chi, \rho \in P, k = 1,..., L_\chi, \quad (7)$$

$$y_{\chi i \rho k} \ge 0,\ z_{\chi i \rho k} \ge 0,\ v_{\chi i} \ge 0,\ \eta_{\chi i k} \ge 0,\ \upsilon_\chi \ge 0,\ i \in N_\chi, \rho \in P, k = 1,..., L_\chi, \quad (8)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – коэффициенты важности, устанавливаемые лицом, принимающим решение в конкретных условиях обстановки;

λ_ρ – коэффициент сжатия информации ρ-го типа;

γ_ρ – коэффициент полезности информации ρ-го типа;

$g_{\chi i \rho k}$ – объем обработанной информации ρ-го типа в *i*-м ФЭ на *k*-м интервале при некоторой χ-й динамике изменения структуры;

$z_{\chi i \rho k}$ – объем потерянной информации ρ-го типа в *i*-м ФЭ на *k*-м интервале при χ-й динамике изменения структуры;

$x_{\chi i j \rho k}$ – объем переданной информации ρ-го типа из *i*-го ФЭ в *j*-й ФЭ на *k*-м интервале при χ-й динамике изменения структуры;

$y_{\chi i \rho k}$ – объем сохраненной информации ρ-го типа в *i*-м ФЭ на *k*-м интервале при χ-й динамике изменения структуры;

$I_{\chi i \rho k}$ – объем получаемой информации ρ-го типа *i*-м ФЭ на *k*-м интервале при χ-й динамике изменения структуры;

$V_{\chi i}$ – объем запоминающего устройства *i*-го ФЭ;

$\eta_{\chi i k}$ – объем свободной памяти запоминающего устройства *i*-го ФЭ.

Характерная особенность решаемой задачи заключается в необходимости учета ограничений суммарного времени последовательного выполнения технологических операций обработки и передачи потоков информации длительностью интервала времени T_k постоянства структуры.

Для того чтобы учесть указанную выше особенность обработки и передачи информационных потоков, связанную с ограничением времени интервала постоянства структуры, требуется ввести в математическую модель (4)–(8) дополнительные переменные и ограничения.

Введем новые переменные, отражающие длительность выполнения операций передачи и обработки информации, тогда объемы информационных потоков можно представить следующим образом:

$$x_{\chi i j \rho k} = \omega_{\chi i j \rho k} \cdot t^x_{\chi i j \rho k},\ g_{\chi i \rho k} = k_{\chi i \rho k} \cdot \varphi_{\chi i \rho k} \cdot t^g_{\chi i \rho k},\ i,\ j \in N_\chi, \rho \in P, k = 1,..., L_\chi, \quad (9)$$

где $t^x_{\chi i j \rho k}$ является искомым временем, требуемым на передачу потока ρ типа объемом $x_{\chi i j \rho k}$ от *i*-го ФЭ к *j*-му на интервале T_k, $t^g_{\chi i \rho k}$ – временем, затрачиваемым на обработку потока ρ типа в *i*-м ФЭ на том же интервале, $k_{\chi i \rho k}$ – коэффициент сжатия информации после обработки (отношение объема обработанной информации к объему поступившей).

Тогда временные ограничения на обработку на *i*-м ФЭ и передачу из *i*-го ФЭ к *j*-му всех информационных потоков будут выглядеть следующим образом:

$$0 \le \sum_{\rho=1}^{p} t^g_{\chi i \rho k} \le t_k - t_{k-1} = T_k,\ 0 \le \sum_{\rho=1}^{p} t^x_{\chi i j \rho k} \le t_k - t_{k-1} = T_k,\ i \in N_\chi, \rho \in P, k = 1,..., L_\chi. \quad (10)$$

В то же время необходимо вводить ограничения на каждом *k*-м интервале постоянства структуры на суммарное время последовательной обработки и передачи информационного потока ρ типа от источников до потребителей. В рассматриваемом случае имеет смысл осуществлять поиск всех путей прохождения информационного потока ρ типа от каждого его источника до каждого его конечного получателя.

В общем виде временные ограничения на возможные пути прохождения потока ρ типа можно записать в следующем виде:

$$0 \le \sum_{l=1}^{N_w} t^{g}_{\chi i_l \rho k} + \sum_{l=2}^{N_w} t^{x}_{\chi i_{(l-1)} i_l \rho k} \le t_k - t_{k-1} = T_k,\ w \in W^k, \rho \in P, k = 1,..., L_\chi, \qquad (11)$$

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

Таким образом, произведя в модели (4)–(8) замену переменных по формулам (9) и введя вместо ограничений (7) ограничения (10), (11), можно получить модифицированную математическую модель планирования операций информационного взаимодействия ФЭ СлО.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Для проведения вычислительного эксперимента была рассмотрена система информационного взаимодействия некоторой автоматизированной системы управления (АСУ) космическими аппаратами (КА) на трех интервалах постоянства структуры информационного взаимодействия, формирование которых осуществляется исходя из особенностей баллистического построения орбитальной группировки и параметров движения КА. Для рассматриваемого промежутка времени был сформирован облик структуры информационного взаимодействия (рис. 2) семи ФЭ в виде взвешенного мультиграфа, осуществляющих распределенную обработку целевой информации, получаемую с КА, и ее последующую передачу потребителю.

Требуется произвести распределение технологических операций обработки и передачи целевой информации максимально возможного объема с борта КА до потребителя в течение сеанса управления. При этом будем предполагать, что объемы поступающей информации заданы, на каждом ФЭ используется по одному вычислителю, для целевой информации существует единственный алгоритм обработки, и он заложен во все ФЭ.

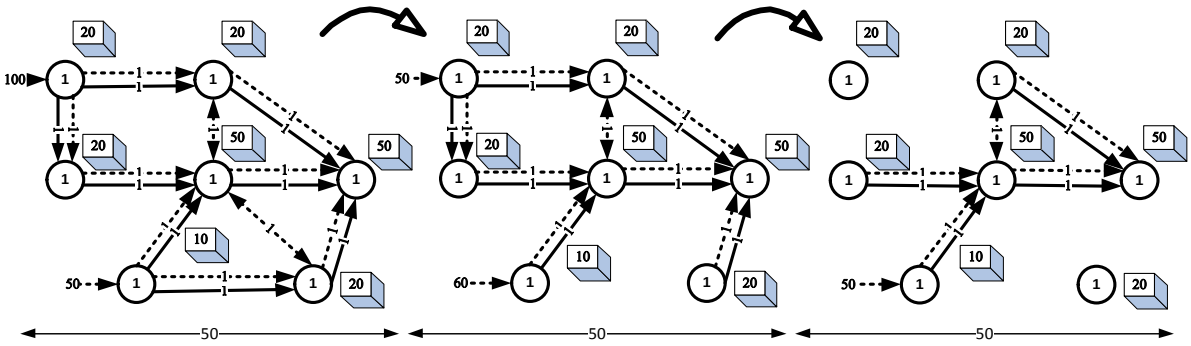


Рис. 2. Облик структуры информационного взаимодействия

Вершинам графа соответствуют величина запоминающего устройства (указана внутри кубов) и интенсивность обработки поступающей информации (указана на самой вершине и равна 1), дугам – интенсивности передачи информации по каналам связи, равной 1. Пунктирная дуга соответствует передаче необработанной информации, сплошная – обработанной. Информация попадает в систему в разных объемах в разные ФЭ, обрабатывается и передается потребителю в течение трех интервалов времени длительностью 50 единиц.

Для проведения сравнительного анализа были построены два варианта плана информационного взаимодействия. Первый вариант основан на принципе «жадного алгоритма» и предполагает максимизацию производительности системы на каждом интервале постоянства структуры в отдельности, второй – на общем планировании для всех интервалов вместе. Реализация первого варианта предполагает построение трех отдельных моделей математического программирования, причем план информационного взаимодействия, полученный для первого интервала, будет влиять на планирование на втором интервале, а план второго интервала – на третьем интервале. Реализа-

ция второго варианта (общего планирования) предполагает построение одной комплексной модели такого же класса для всех интервалов. Потенциальную производительность системы информационного взаимодействия будем рассчитывать исходя из объемов обработанной информации, доставленной до потребителя в течение всего рассматриваемого времени с помощью показателя

$J_{res} = \sum_{\rho=1}^{p} \lambda_\rho \sum_{i=1}^{n_\chi} \sum_{k=1}^{L_\chi} g_{\chi i_{res} \rho k}$, где i_{res} – индекс ФЭ, передающего информацию потребителю.

В ходе проведенного вычислительного эксперимента были разработаны четыре модели математического программирования, имеющие размерности порядка от сотни до трех сотен переменных и ограничений, привести которые в силу ограниченного объема настоящей статьи не представляется возможным. Результаты решения представлены на рис. 3.

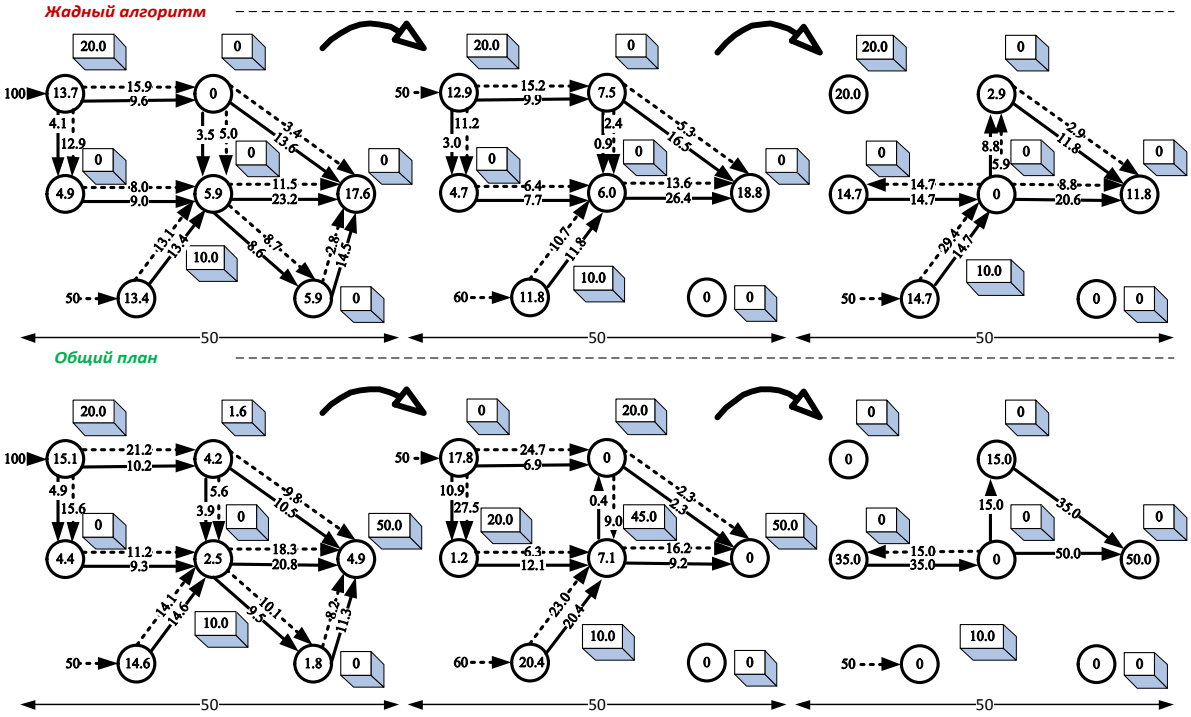
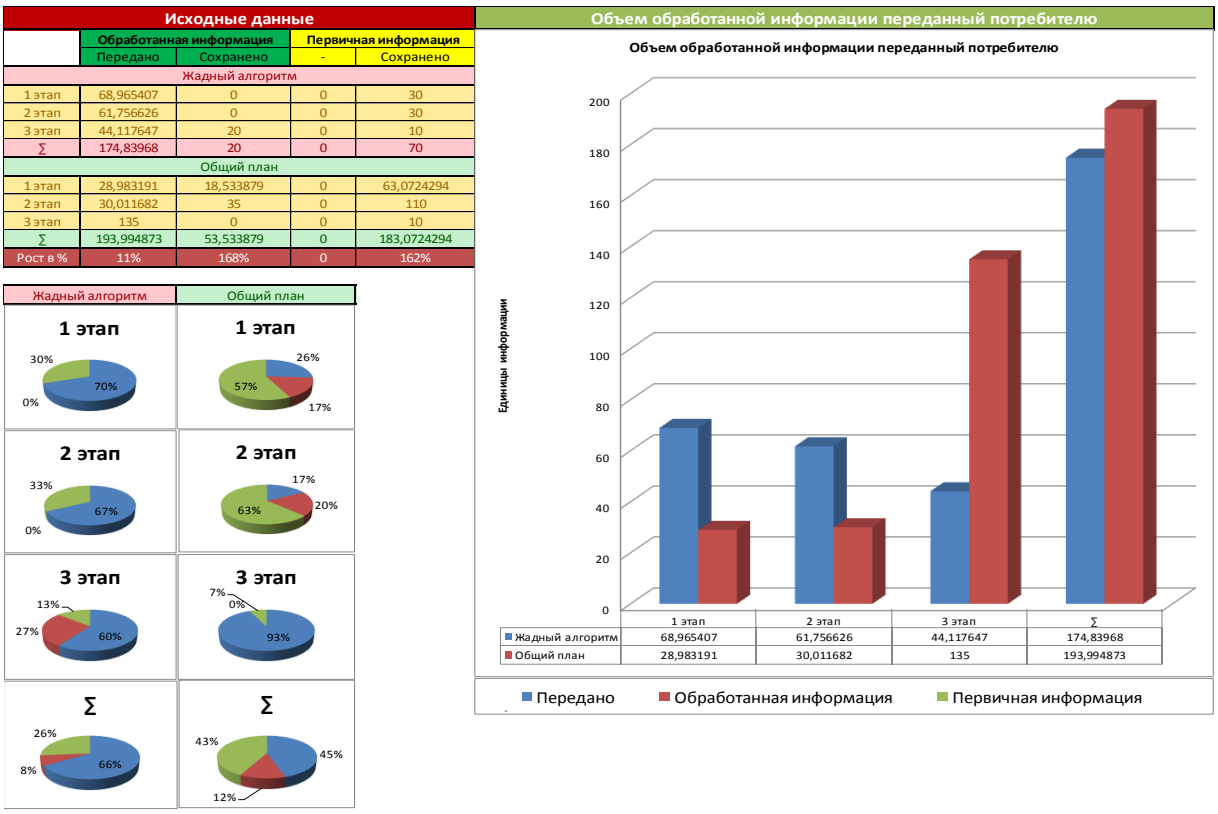


Рис. 3. Планы информационного взаимодействия ФЭ СлО

Предварительный анализ полученных планов информационного взаимодействия ФЭ СлО показал, что при общем планировании в сравнении с «жадным алгоритмом» интенсивнее используются запоминающие устройства, что, как оказалось, дает некоторый выигрыш (порядка 11%) при сравнении планов по показателю J_{res} для рассматриваемой задачи. Подробный сравнительный анализ представлен на рис. 4. При «жадном» варианте на первом интервале постоянства структуры система пытается обработать и передать пользователю как можно больше информации, а некоторую оставшуюся часть необработанной информации сохраняет в запоминающих устройствах. То же самое происходит на втором интервале, но с учетом изменившихся условий функционирования пользователь получает меньший объем информации. На третьем интервале ситуация повторяется. При общем планировании баланс между операциями информационного взаимодействия получается более выверенным, что при ухудшающихся условиях функционирования системы не только не приводит к снижению производительности, а даже ведет к повышению производительности на существенные величины (в некоторых случаях значение производительности оказывалось больше на ≈50%, а случаев снижения этого значения на данном этапе исследований обнаружено не было).



Исходные данные				
	Обработанная информация		Первичная информация	
	Передано	Сохранено	-	Сохранено
Жадный алгоритм				
1 этап	68,965407	0	0	30
2 этап	61,756626	0	0	30
3 этап	44,117647	20	0	10
∑	174,83968	20	0	70
Общий план				
1 этап	28,983191	18,533879	0	63,0724294
2 этап	30,011682	35	0	110
3 этап	135	0	0	10
∑	193,994873	53,533879	0	183,0724294
Рост в %	11%	168%	0	162%

Рис. 4. Сравнительный анализ планов информационного взаимодействия ФЭ СлО

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием предложенных моделей планирования можно формально описать и решить различные классы задач анализа и синтеза структурно-функциональной реконфигурации информационного взаимодействия СлО в таких предметных областях, как логистика, космонавтика, атомная энергетика и др. Приведены результаты вычислительных экспериментов с использованием модифицированных моделей, а также сделано предположение о том, что потенциальная производительность системы информационного взаимодействия при общем планировании для всех интервалов времени постоянства структуры оказывается выше, чем при планировании в рамках самих интервалов.

Список используемых источников

1. *Калинин В.Н., Резников Б.А., Варакин Е.И.* Теория систем и оптимального управления: учебник . – Ч.1. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1988. – 589 с.; ч.2. – МО СССР, 1988. – 589 с.

2. Военная системотехника и системный анализ: учебник / А.Н. Павлов, Б.В. Москвин, Б.В. Соколов, Д.Н. Верзилин; под ред. А.Н. Павлова. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2010. – 251 с.

3. *Осипенко С.А., Павлов А.Н., Соколов Б.В.* Динамическая реконфигурация информационных систем специального назначения // Материалы научной конференции «Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения». – М.: ФГУП «Концерн «Системпром», 2011. – С.43–44.

4. *Москвин Б.В., Михайлов Е.П., Павлов А.Н., Соколов Б.В.* Комбинированные модели управления структурной динамикой сложных технических объектов // Известия вузов. Приборостроение. – 2006. – Т.№49, №11. – С.8–12.

5. *Павлов А.Н.* Комплексное моделирование структурно-функциональной реконфигурации сложных объектов // Труды СПИИРАН. – 2013. – Вып. № 5. – С.143–168.

А.П. Алешкин,
доктор тех. наук, профессор;
В.С. Бахолдин,
кандидат тех. наук, доцент;
Д.А. Леконцев

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИИ И РАДИОНАВИГАЦИИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ УЛУЧШЕНИЮ

Проведен анализ информационных характеристик сигналов систем космической радиолокации и радионавигации. Рассмотрены проблемы построения энерго- и информационно-эффективных измерительных шкал и их синтеза, обеспечивающих однозначные измерения с заданной точностью. Предложено использование математической теории чисел в качестве математической основы для разработки методов построения измерительных шкал.

Ключевые слова: радиосигналы, диапазон измерения, разрешающая способность, точность измерения, многошкальные измерения, математическая теория чисел, информативность измерений, методы навигационных измерений.

ВВЕДЕНИЕ

Радиолокационные и радионавигационные системы относят к информационно-измерительным средствам, так как их основной функцией является получение числовых характеристик о движении и ориентации различных физических объектов.

Информация об исследуемом объекте получается в результате обработки отраженного или излученного им радиосигнала. Вследствие наличия шумов обработка радиосигнала представляет собой задачу статистического оценивания его характеристик по результатам измерений. Оценка потенциальной информативности сигнала, т.е. максимального количества информации которое может быть извлечено в результате его приёма и обработки, должна проводиться на этапе проектирования или модернизации соответствующих систем [1].

Подходы к оценке информационных характеристик систем космической радиолокации и радионавигации были разработаны В.Е. Дулевичем [2] и В.С. Шебшаевичем [3] – выдающимися представителями научных школ факультета радиоэлектроники ВКА имени А.Ф. Можайского.

АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ

Информацию о координатах объекта принято представлять как функцию отношения числа возможных положений объекта до и после получения информации [4, 5]. Координаты объекта получают в результате обработки измерительной информации с использованием различных методов определения местоположения. В простейшем случае, если результатом измерений является дальность, определяемая с предельной погрешностью ΔR, то при использовании логарифмического закона количество информации, которое может быть получено, выражается через относительную погрешность следующим образом:

$$I = -\log \frac{\Delta R}{R_{\max}},$$

где $R_{\max}$ – диапазон однозначного измерения дальности, который согласуется с дальностью действия радиотехнической системы и ограничен такими характеристиками системы, как мощность излучаемого сигнала, чувствительность приёмника и др.

Необходимо отметить, что информация, полученная в результате оценивания параметров сигнала, является собственной информацией сигнала. Информация, получаемая на выходе радиолокационной или радионавигационной системы, отличается от собственной информации сигнала. Так, например, если при оценке времени запаздывания сигнала получают информацию о дальности до цели, то при оценке времени запаздывания сигнала в двух разнесённых точках, можно получить информацию о направлении на цель. Таким образом, введение дополнительного измерения и применение алгоритма обработки измерений в двух разнесённых точках позволяют увеличить количество информации, получаемой на выходе радиотехнической системы. Количество информации о положении объекта в этом случае зависит не только от собственной информации сигнала, но и от характеристик радиолокационной системы – числа и размеров измерительных баз, влияющих на диапазон и погрешность измерения углов.

Известно, что фазовые измерительные системы обладают наибольшей потенциальной точностью измерения [6]. Полная фаза сигнала связана с временем запаздывания τ приходящей волны, которое определяется дальностью R до цели, следующим соотношением

$$\varphi = 2\pi f \times \left(t - \frac{2R}{c} \right).$$

Если амплитуда, частота и начальная фаза генерируемого сигнала промодулированы по известному закону, то фаза отраженного сигнала будет дополнительно определяться дальностью до цели. Однозначное измерение фазы возможно на интервале от 0 до 2π, при этом средняя квадратическая погрешность измерений зависит только от отношения сигнал/шум и определяется выражением $\sigma_\varphi = \frac{1}{\left(2\,Э/N_0\right)^{1/2}}$, где $Э/N_0$ – отношение сигнал/шум по мощности.

Будем полагать, что абсолютная ошибка δ_φ равна предельной погрешности $\pm 3\sigma_\varphi$ и не выходит за границы доверительной величины ($-3\sigma_\varphi \le \delta_\varphi \le +3\sigma_\varphi$). Тогда получаемое количество информации при использовании фазового метода вычисляется по формуле

$$I_\varphi = -\log \frac{\delta_\varphi}{2\pi},$$

где δ_φ – абсолютная ошибка измерения фазы в радианах. Данное выражение определяет потенциальную информативность фазовых измерений, т.е. максимально возможное количество информации, которое получается в результате измерения дробной части фазового цикла при заданном отношении сигнал/шум. Наименьшее значение отношения сигнал/шум будет наблюдаться в конце измерительной шкалы (при достижении максимальной дальности действия).

Длина измерительной шкалы (диапазон однозначного измерения дальности) всегда согласуется с дальностью действия радиотехнической системы, при этом энергия сигнала выступает в качестве ограничивающего фактора для радиолокационных и радионавигационных систем.

Так как диапазон однозначного измерение фазы мал, на практике для одновременного обеспечения высокой точности и однозначности используют многошкальные измерения, при которых должно выполняться условие согласования шкал: удвоенная погрешность измерения на более грубой шкале не должна превышать диапазона однозначного измерения на более точной шкале. Для спектральной области это означает, что высокая частота в спектре сигнала для многошкальных измерений соответствует точной шкале, а самая низкая – соответствует грубой шкале, обеспечивающей диапазон однозначного измерения дальности. Следует заметить, что значительная часть полной энергии радиосигнала затрачивается на

согласование шкал. В связи с этим возникает противоречие между точностью, однозначностью и ограниченностью энергии сигнала, необходимой для обеспечения заданных тактико-технических характеристик радиолокационных и радионавигационных систем.

Широкое распространение в системах радиолокации и радионавигации при многошкальных фазовых измерениях получил метод пересчета измерений, для которого длины смежных шкал m выбираются из соотношения $m \cdot \delta\varphi_i \le 2\pi$, где $\delta\varphi_i$ – предельная погрешность на соответствующей масштабной шкале. Полагая, что стыковка всех шкал равнонадёжна, их число можно найти из выражения

$$n \ge 1 + \frac{\log\left(f_{\text{точ}}/f_{\text{гр}}\right)}{\log m}.$$

Так как m – целое число, шкалы построенные таким образом, оказываются кратными, т.е. в любой промежуточной или грубой шкале укладывается целое число $m \cdot k$ более точных шкал. Количество измерительной информации, которое может быть получено многошкальной фазовой системой, реализующей метод пересчета измерений, описывается выражением:

$$I_{\text{МПИ}} = I_{\varphi} \cdot n = -\log\frac{6\sigma_{\varphi}}{2\pi}\left(1 + \frac{\log\left(f_{\text{точ}}/f_{\text{гр}}\right)}{\log\frac{2\pi}{6\sigma_{\varphi}}}\right) = \log\frac{\pi\sqrt{\left(2\Im/N_0\right)}}{3} + \log\left(f_{\text{точ}}/f_{\text{гр}}\right).$$

Анализ данного выражения показывает, что повышение информативности метода построения измерительных шкал зависит только от отношения сигнал/шум и отношения грубой и точной масштабных частот. Выбор соотношения между дополнительными шкалами и их количество не оказывает влияния на количество получаемой информации.

В радиолокационных и радионавигационных системах для формирования грубой шкалы часто используют метод синтезированной (разностной) длины волны $\lambda = c/\left(f_1 - f_2\right)$, где c – скорость света, а f_1 и f_2 – масштабные частоты, при этом $f_1 > f_2$. Количество измерительной информации, которое получается при реализации метода синтезированной длины волны, имеет вид

$$I_{\text{СДВ}} = \log\frac{\pi\sqrt{\left(2\Im/N_0\right)}}{3} + \log\left(f_1/\left(f_1 - f_2\right)\right).$$

Рассмотрев данное выражение, можно сделать вывод, что повышение информативности достигается выбором достаточно близких частот. Единственным очевидным ограничением при выборе интервала между соседними частотами f_1 и f_2 является максимальная величина доплеровского сдвига частоты, обусловленная взаимным перемещением источника и приёмника сигнала.

В современных радиолокационных и радионавигационных системах, выполняющих измерения дальности, широко используются последовательности относительно коротких импульсов с периодом повторения, выбранным с позиции однозначного измерения дальности, или сложные сигналы. Под сложными принято понимать сигналы, для которых база (произведение занимаемой полосы частот на его длительность) значительно больше единицы. Исходя из определения Хартли [7], термин база сигнала эквивалентен понятию «общее количество информации, которое может быть передано с помощью этого сигнала». Однако, оба этих определения не дают представления о количестве измерительной информации, получаемой при оценке параметров сигнала и используемой далее для определения местоположения объекта.

Любой сложный сигнал можно представить в виде ряда гармонических составляющих, используя преобразование Фурье. Спектр указанных выше периодических сигналов является

линейчатым. Ширину спектра сигнала обычно ограничивают первым лепестком, в котором содержится 95% мощности сигнала. Точность измерения дальности связана с шириной спектра, которая определяется длительностью импульса, или тактовой частотой модулирующего кода. То есть, верхняя гармоника в спектре равна тактовой частоте и соответствует точной шкале измерения дальности. Период повторения сигнала определяет шаг спектральных составляющих по частоте, т.е. задаёт самую грубую шкалу измерения и соответствует самой низкой частоте в спектре. Промежуточные составляющие спектра выполняют согласование грубой и точной шкалы и обеспечивают более высокую помехоустойчивость по сравнению с простыми сигналами. С физической точки зрения это является результатом того, что разностная частота двух любых соседних гармоник соответствует самой низкой частоте в спектре сигнала, т.е. грубой шкале. Энергии спектральных составляющих неодинаковы, и при увеличении уровня шумов отношение сигнал/шум становится недостаточным, в первую очередь, на более высоких гармониках, что вызывает постепенное ухудшение точности измерения дальности. Поэтому сложные фазоманипулированные сигналы нельзя считать эффективными с точки зрения обеспечения требуемой точности и однозначности измерения дальности в условиях ограниченной энергии сигнала.

Для сложных сигналов, использующих в качестве закона изменения фазы различные псевдослучайные кодовые последовательности, количество измерительной информации оценивается следующим образом:

$$I_{\text{ПСП}} = \log\frac{\pi\sqrt{(2\Im/N_0)}}{3} + \log\left(f_{\text{такт}}/F_{\text{ПСП}}\right) = \log\frac{\pi\sqrt{(2\Im/N_0)}}{3} + \log\left(\frac{f_{\text{такт}}}{(T_{ПСП})^{-1}}\right) =$$

$$= \log\frac{\pi\sqrt{(2\Im/N_0)}}{3} + \log\left(N_{\text{ПСП}}\right),$$

где фазовые измерения выполняются на тактовой частоте смены символов кода $f_{\text{такт}}$, а $N_{\text{ПСП}}$ – число символов псевдослучайной последовательности.

Переход на фазовые измерения на несущей частоте, как, например, в спутниковых навигационных системах, требует согласования точности измерений на тактовой частоте кода с длиной волны несущей частоты.

Сигналы, оптимальные по разрешающей способности и имеющие сплошной эквивалентный спектр, можно также рассматривать как многошкальную измерительную систему с бесконечным числом шкал, которые не требуют стыковки. Однако их точность в $\sqrt{3}$ раз меньше, чем у сигналов с оптимальной точностной характеристикой [6].

На основе всего вышеизложенного можно сделать вывод, что существует научная проблема синтеза энерго- и информационно-эффективных измерительных шкал, обеспечивающих однозначные измерения с заданной точностью. Особая актуальность этой проблемы связано активным изучением и освоением Луны и Марса, о чем свидетельствует начало опытно-конструкторских работ по созданию лунной навигационной системы, призванной обеспечить решение навигационной задачи как при перелетах Земля–Луна и обратно, так и на поверхности самой Луны. Кроме этого в ряде систем, в которых при проектировании не предполагалось использование высокоточных фазовых измерений, например в спутниковых навигационных системах, требуется разработка новых подходов к формированию и согласованию измерительных шкал на несущих частотах и дальномерном коде, так как известные методы разрешения неоднозначности фазовых измерений не применимы или не удовлетворяют требованиям по оперативности.

Ограничения на энергию сигнала и соответственно на отношение сигнал/шум вызвано не только существенным ростом дальности при межпланетных перелетах, но и широким внедрением микро- и наноспутников с ограниченными энергетическими возможностями и малой эффективной площадью рассеяния (ЭПР). События последних лет также показали, что чело-

вещество пока не готово к отражению метеоритной угрозы. В частности, отсутствуют средства обнаружения и высокоточного измерения параметров движения космических объектов с высокой кинетической энергией и низкой удельной ЭПР на чрезвычайно больших расстояниях. Первоочередным вопросом при проектировании таких систем становится вопрос о выборе сигналов, которые должны обеспечить требуемые точность и однозначность при имеющемся энергетическом потенциале.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ИНФОРМАТИВНОСТИ РАДИОСИГНАЛОВ

Для решения проблемы построения эффективных измерительных шкал необходимо полностью использовать измерительную информацию, получаемую на каждой шкале, т.е. при введении в спектр сигнала дополнительных гармоник увеличивать общее количество получаемой информации. Используемый при этом математический аппарат должен оперировать как с целым числом фазовых циклов, так и с его дробной частью без дополнительных вычислительных ошибок для исключения потерь получаемой информации.

В качестве математической основы для разработки методов построения таких шкал предлагается использовать математическую теорию чисел, в части систем вычетов, сравнений и классов по заданному модулю [8]. Если дробную часть фазового цикла соотнести с классом вычетов, а величине модуля поставить в соответствие длину волны, то для восстановления полного числа фазовых циклов можно использовать китайскую теорему об остатках. Все вычисления в этом случае будут производиться в системе остаточных классов (СОК).

СОК – это непозиционная система счисления, в которой числа представляются остатками от деления на выбранную систему оснований P_1, P_2,..., P_n, являющимися взаимно простыми числами. Главным достоинством данной системы является то, что операции сложения, вычитания и умножения над числами производятся независимо по каждому основанию без переносов между ними. Диапазон представления чисел в СОК $D = P_1 \cdot P_2 \cdot \ldots \cdot P_n$ зависит от числа используемых оснований и их величины [9]. Так как основания (модули) рассматриваемой системы взаимно простые числа, то соответствующие им шкалы получаются некратными друг другу, т.е. в длине любой из шкал не укладывается целое число длин ни одной другой шкалы в отличие от метода пересчета, в котором длины двух любых соседних шкал связаны постоянным коэффициентом.

Таким образом, предлагаемая система некратных измерительных шкал [10] может быть использована для выполнения измерений, обеспечивающих требуемые точность и однозначность при заданном энергетическом потенциале сигнала.

Список используемых источников

1. *Новицкий В. П.* Основы информационной теории измерительных устройств. – Л.: Энергия, 1968. – 248 с.

2. *Дулевич В. Е.* Информационные свойства радиолокационных систем. – Л.: ЛВИКА им. А.Ф. Можайского, 1970. – 211 с.

3. *Шебшаевич В. С.* Введение в теорию космической навигации. – М.: Сов. радио, 1971. – 296 с.

4. *Вудворд Ф. М.* Теория вероятностей и теория информации с применениями в радиолокации. – М.: Сов. радио, 1955. – 126 с.

5. *Бриллюэн Л.* Наука и теория информации. – М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1960. – 392 с.

6. Теоретические основы радиолокации. / В. Е. Дулевич, А. А. Коростелев, Ю. А. Мельник и др.; под ред. В. Е. Дулевича. – М.: Сов. радио, 1964. – 732 с.

7. Теория информации и ее приложения. Сборник переводов под ред. А. А. Харкевича. – М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1959. – 328 с.

8. *Михелович Ш. М.* Теория чисел. – М.: Высшая школа, 1967. – 336 с.

9. *Акушский И. Я., Юдицкий Д. И.* Машинная арифметика в остаточных классах. – М.: Сов. радио, 1968. – 440 с.

10. Разрешения неоднозначности в информационно-измерительных многошкальных приборах и системах / В. А. Пономарев, А. В. Пономарев, Т. М. Пономарева, В.С. Бахолдин. – СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 2001. – 166 с.

И.В. Бережной,
кандидат техн. наук;
С.М. Гурский,
кандидат техн. наук, профессор;
В.Т. Карасёв;
В.Н. Маковский,
кандидат техн. наук, доцент;
А.И. Фомин

КОНТРОЛЬ ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОПОЛОГИЕЙ

Исследованы возможности применения синергетической теории информации для анализа структурной организации сотовой системы связи с динамической топологией. Предложено решение задачи классификации состояния динамической топологии системы связи при отсутствии доступа к информации, циркулирующей внутри сети.

Ключевые слова: система связи с динамической топологией, точка радиодоступа, соты.

ВВЕДЕНИЕ

Для контроля за функционированием систем связи с динамической топологией в качестве информационных признаков для распознавания источников сигналов и оценки состояния объектов контроля могут быть использованы как классические признаки – параметрическая (сигнальная) информация (частота, мощность, вид модуляции и т.д.), пространственная (местоположение, координатные признаки), так и новые – поведенческие и траекторные признаки, к которым относятся структура сети (положение точек радиодоступа (ТРД) и их количество) и ее изменения; положение мобильных станций (МС) относительно ТРД [1]; перемещение МС в пределах зоны покрытия сети (смена ТРД); временная загруженность ТРД и др.

Несмотря на то, что каждый из признаков в отдельности мало информативен [2], задание вероятностей попадания значений в заранее рассчитанные области с последующим применением правила обобщенного анализа позволяет повысить результативность контроля

Классические методы контроля (применяемые для стационарных сотовых сетей связи) не дают нужных результатов [3]. Поэтому для решения задачи учета поведенческих и траекторных признаков системы связи с динамической топологией воспользуемся синергетической теорией информации.

Рассмотрим систему с конечным множеством элементов, а в качестве признака выберем направление движения ТРД. По значениям этого признака разделим систему на части и охарактеризуем образовавшуюся структуру с помощью таких противоположных понятий, как хаос и порядок. То есть чем большее разнообразие проявляют элементы по значениям признака и соответственно чем на большее число частей разделяется система, тем более хаотичной и менее упорядоченной является ее структура.

Под синергетической информацией будем понимать информацию, которая существует вне связи с управлением рассматриваемой динамической системы [4]. Согласно этой теории при описании дискретных систем через совокупность их частей происходит разделение отражаемой информации (I_0) на отраженную и неотраженную части, равные соответственно аддитивной негэнтропии (I_Σ) и энтропии (S). Эти разновидности синергетической информации описываются следующими выражениями:

$$I_0 = \log_2 M, \tag{1}$$

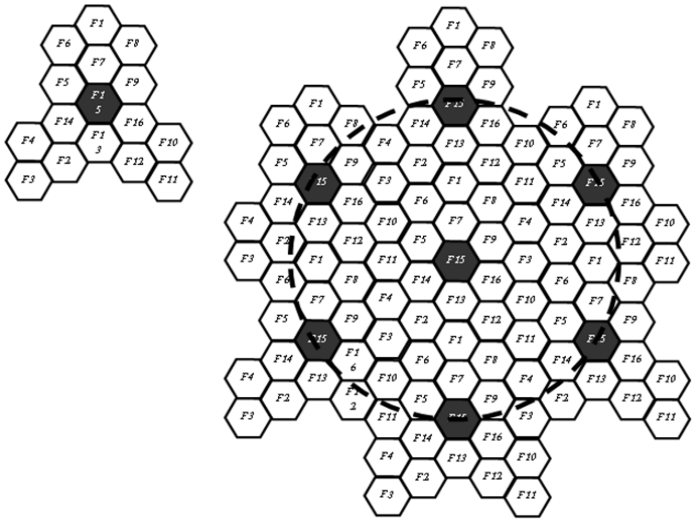
$$I_\Sigma = \sum_{i=1}^{N} \frac{m_i}{M} \log_2 m_i, \tag{2}$$

$$S = -\sum_{i=1}^{N} \frac{m_i}{M} \log_2 \frac{m_i}{M}, \tag{3}$$

где M – общее количество элементов в составе системы;
N – число частей системы;
m – количество элементов в i-части.

Аддитивная негэнтропия (2) и энтропия отражения (3) соотносятся между собой таким образом, что чем более хаотичной является структура системы, т. е. чем больше частей выделяется в ее составе и чем меньше эти части отличаются друг от друга по числу элементов, тем больше энтропия отражения и меньше аддитивная негэнтропия. И наоборот – чем больше порядка в структуре системы, т. е. чем меньше частей в ее составе и чем более доминирует какая-либо часть по числу элементов, тем больше аддитивная негэнтропия и меньше энтропия отражения.

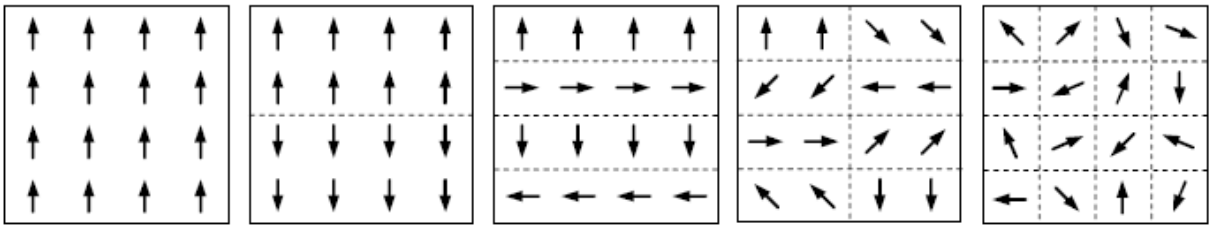
При развертывании сотовой системы связи в зависимости от требуемой зоны покрытия и выделенного частотного ресурса кластер, образующий регулярную сетевую структуру, может состоять из одной, трех, четырех, семи, двенадцати и т.д. сот. При этом регулярной считается структура, в которой количество мешающих (работающих на одной частоте F) ТРД и их взаимное расположение, в том числе расстояние до «опорной» (анализируемой) соты, определены однозначно на любом ярусе (эшелоне) структуры сети. Опишем в качестве примера состояния динамической системы связи на основе 16-элементного кластера (рис. 1).



а) б)

Рис.1. Пример 16-элементного кластера (а) и сформированная на его основе регулярная структура (б)

На рис. 2 показаны пять состояний динамической системы, которым соответствует последовательное ее деление на 1, 2, 4, 8, 16 равновеликих частей, отличающихся друг от друга направлением (отмечены стрелками) движения ТРД.



а) б) в) г) д)

Рис.2. Пример вариантов движения 16 ТРД

В состоянии, представленном на рис. 2,а, все элементы движутся в одном направлении, и в структуре системы наблюдается идеальный порядок. В соответствии с формулами (2) и (3) для состояния на рис.2,а имеем I_Σ=4; S=0. На рис. 2,д имеем полярную противоположность, т. е. каждый элемент системы обладает строго индивидуальным направлением движения и структура системы является максимально хаотичной (I_Σ=0; S=4). Состояния системы на рис. 2,б–г занимают промежуточное положение по отношению к состояниям на рис. 2,а, д и характеризуются тем, что в их структуре присутствуют как хаотичность, так и упорядоченность. Для состояния на рис.2,б имеем I_Σ=3; S=1, для состояния на рис.2,в – I_Σ=2; S=2, для состояния на рис.2,г – I_Σ=1; S=3.

По определению аддитивная негэнтропия и энтропия отражения, как отраженная и неотраженная информации, в своей сумме равны информации (1), которую отражает система о самой себе как едином целом:

$$I_\Sigma + S = I_0 . \quad (4)$$

Выражение (4) является инвариантным относительно любых структурных преобразований системы и в излагаемом контексте интерпретируется как закон сохранения суммы хаоса и порядка. Иначе говоря, что бы мы ни делали с системой без изменения общего количества элементов, на сколько бы частей ни разбивали ее по значениям какого-либо признака и в каком бы соотношении по числу элементов ни находились между собой части, сумма хаоса и порядка в структуре системы всегда будет оставаться неизменной. Например, для системы на рис.2, как это видно из результатов расчета аддитивной негэнтропии и энтропии отражения, по всем состояниям имеем $I_S + S = 4$.

Хаотичность и упорядоченность в своей совокупности определяют в целом структурную организацию системы, и соответственно для ее количественной характеристики может использоваться та или иная функция, аргументами которой являются меры хаоса и порядка. В качестве такой функции в синергетической теории информации используется так называемая R-функция, представляющая собой отношение аддитивной негэнтропии к энтропии отражения:

$$R = \frac{I_\Sigma}{S}. \quad (5)$$

То есть значения R-функции говорят о том, что и в какой мере преобладает в структуре системы: хаос или порядок. Так, если $R > 1$, то в структуре системы преобладает порядок, в противном случае, когда $R < 1$, – хаос. При $R = 1$ хаос и порядок уравновешивают друг друга, и структурная организация системы является равновесной.

Для представленных на рис. 2 пяти различных структурных состояний системы значения R-функции равны ∞; 3; 1; 0,33; 0 соответственно.

Аддитивная негэнтропия I_Σ и энтропия отражения S, в зависимости от общего количества элементов M в составе системы и числа ее частей N, могут принимать следующие максимальные и минимальные значения:

$$S^{\max} = \log_2 N, \tag{6}$$

$$I_\Sigma^{\min} = \log_2 M - \log_2 N, \tag{7}$$

$$I_\Sigma^{\max} = \frac{M - N + 1}{M}\log_2 M - N + 1, \tag{8}$$

$$S^{\min} = \log_2 M - \frac{M - N + 1}{M}\log_2(M - N + 1). \tag{9}$$

На рис. 3 представлены графики функций (6)–(9) при фиксированном числе элементов M, которые образуют два контура: энтропийный – abdefha и негэнтропийный или информационный – cdfghbc. Эти контуры локализуют области всех возможных значений аддитивной негэнтропии и энтропии отражения и в своей совокупности составляют диаграмму, именуемую как информационное поле отражения дискретных систем.

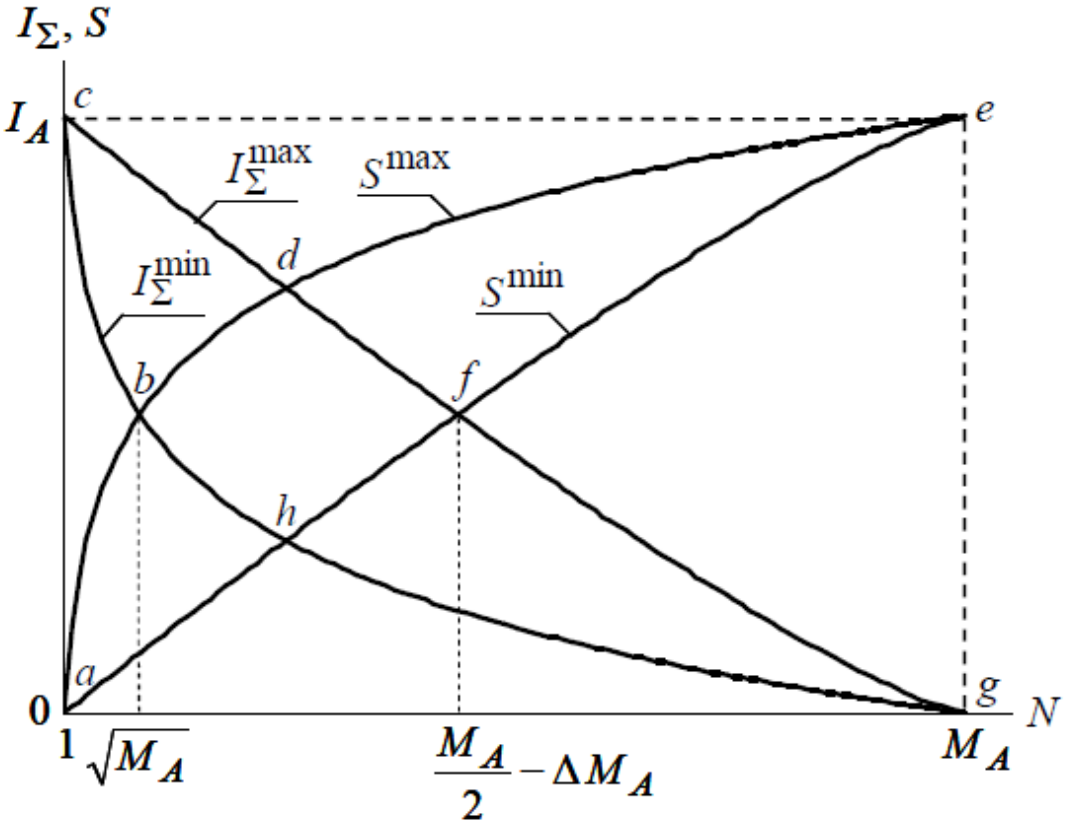


Рис.3. Информационное поле отражения дискретных систем

По пересечению контуров в точках b и f, где наблюдаются равенства $I_\Sigma^{\min} = S^{\max}$, и на горизонтальной оси выделяются три интервала значений N (левый, центральный, правый) с присущими каждому интервалу особенностями взаимоотношений аддитивной негэнтропии (порядка) и энтропии отражения (хаоса). При этом значение N, соответствующее точке b, является детерминированным и равно $\sqrt{M}$ с округлением до ближнего большего целого, а значение N, соответствующее точке f, не имеет аналитического выражения и определяется

численным путем (N принимает то значение, после которого $S^{\min} > I_{\Sigma}^{\max}$), но в любом случае не превышает $M/2$.

В левом интервале ($1 \le N < \sqrt{M}$) при любом соотношении частей системы по числу элементов справедливо неравенство $I_{\Sigma} > S$, и соответственно структурная упорядоченность системы всегда больше ее хаотичности и $R > 1$. В правом интервале ($M/2 - \Delta M < N \le M$) наблюдается противоположная картина, когда при любых структурных преобразованиях $S>I_{\Sigma}$, что соответствует преобладанию хаоса над порядком и значениям R<1. В центральном интервале ($\sqrt{M} \le N \le M/2 - \Delta M$) между I_{Σ} и S могут быть различные взаимоотношения, и проявляется тенденция к взаимному уравновешиванию в структуре системы хаоса и порядка. R-функция при этом может быть как больше, так и меньше единицы, а в ряде случаев (по линии bf) имеет место и равенство $R = 1$. Иначе говоря, в левом интервале наблюдается необратимое преобладание в структуре системы порядка над хаосом, а в правом интервале, наоборот, – необратимое преобладание хаоса над порядком. В центральном интервале, в свою очередь, преобладание как порядка над хаосом, так и хаоса над порядком является обратимым.

Отмеченные особенности интервалов значений N позволяют все состояния дискретных динамических систем, в зависимости от общего количества их элементов и числа частей, классифицировать на три типа:

– упорядоченные (левый интервал);

– синергетичные (центральный интервал);

– хаотичные (правый интервал).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные информационно-синергетические функции хаоса и порядка и приведенная классификация имеют универсальный характер и могут использоваться при структурном анализе любых дискретных систем с конечным множеством элементов.

Применение указанного подхода при наблюдении за функционированием системы связи с динамической топологией позволяет не только определять в целом структурную организацию системы связи (в том числе и при отсутствии доступа к информации, циркулирующей внутри сети), но и классифицировать текущее состояние объекта контроля.

Список используемых источников

1. Методы оценивания пространственных характеристик мобильных абонентов/ И.В. Чеботарь, В.В. Кузьмин, Ю.Н. Гайчук, В.Н. Маковский // Антенны. – 2014. – Т. 10, №11. – С.38–42.

2. *Маковский В.Н., Бережной И.В., Панкратов А.В.* Структурно-статистический метод оценивания пространственных характеристик мобильных абонентов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского / под ред. М.М. Пенькова. – СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2014. – Вып. 1 (642). – С.36–42.

3. *Маковский В.Н., Зайцев И.Е., Сайбель А.Г.* Координатометрия мобильных абонентов: проблемы, методы и решения // Информация и космос: науч.-техн. журнал. – СПб.: Санкт-Петербургская научно-техническая общественная организация «Институт телекоммуникаций», 2005. – №2. – С.30–36.

4. *Вяткин В.Б.* Хаос и порядок дискретных систем в свете синергетической теории информации // Научный журнал КубГАУ. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №47(3). – С.74–82.

И.Ю. Еремеев,
доктор техн. наук, профессор;
Д.А. Клецков

ПРИМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЕРСТА ДЛЯ ПОИСКА СЛУЖЕБНЫХ ПАКЕТОВ КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ В ГРУППОВЫХ СИГНАЛАХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ С МНОГОСТАНЦИОННЫМ ДОСТУПОМ И ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ АБОНЕНТОВ

В статье предлагается применение показателя самоподобия (Херста) для распознавания служебных пакетов канала управления спутниковых систем связи, использующих для обслуживания абонентов многостанционный доступ с временным разделением абонентов. В основе метода лежит оценка показателя Херста служебных пакетов канала управления и информационных пакетов с абонентской нагрузкой, которая проводится с помощью R/S-анализа.

Ключевые слова: самоподобие, показатель Херста, временной ряд, нормированный размах, R/S -анализ.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с возросшими требованиями к пропускной способности каналов связи, оптимальному использованию «связного» ресурса, а также к возможности передачи данных в любой точке мира и в любое время суток, широкое распространение получили спутниковые системы связи (ССС), в которых используется многостанционный доступ с временным разделением абонентов (МДВР). В 80% случаев абонентские терминалы (АТ) данных систем являются оборудованием VSAT (Very Small Aperture Terminal) [1].

Развитие и функционирование ССС с МДВР, как неотъемлемой части национальной системы связи общего пользования, регламентируется и контролируется национальными администрациями связи и другими уполномоченными органами в рамках их компетенции. Сложность структур сигналов и алгоритмов функционирования ССС с МДВР затрудняет решение задач их радиомониторинга. Методы, позволяющие в полной мере осуществлять комплексный поиск и дуплексную обработку сигналов центральной земной станции и АТ одной сети, в настоящее время отсутствуют. Решить данную задачу возможно путем проведения технического анализа служебных пакетов канала управления, содержащих данные о назначенных каждому АТ частотах и временных интервалах. Для проведения данного анализа необходимо для начала провести декомпозицию группового сигнала на служебные и информационные пакеты [2].

Цель статьи состоит в разработке информативного признака для выявления служебных пакетов канала управления в групповых сигналах ССС с МДВР. Данный признак основан на применении показателя Херста для оценивания степени самоподобия временного ряда, составленного из интервалов времени между служебными пакетами канала управления.

ОБОСНОВАНИЕ ПОРОГА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ТИПЕ ПЕРЕДАВАЕМЫХ ДАННЫХ

В работе [8] приведена модель групповых сигналов ССС с МДВР. На основании представленной модели проводится декомпозиция группового сигнала на подмножества пакетов, которые имеют одинаковое значение специального идентификатора, дается методика расчета показателя Херста для каждого подмножества (R/S-анализ). По значению показателя Херста

определяется, самоподобен или нет временной ряд, составленный из значений времени между пакетами в каждом подмножестве. Исследования, проведенные в работе [8], показали, что временной ряд, составленный из разности моментов времени между служебными пакетами канала управления ССС с МДВР, обладает свойством самоподобия в отличие от информационных пакетов. В данной статье предлагается использовать показатель Херста для поиска служебных пакетов канала управления в групповых сигналах ССС с МДВР. Следовательно, необходимо выявить значение данного показателя, при превышении которого будем считать, что передаются служебные пакеты, а в противном случае – информационные, т.е. следует отыскать пороговое значение показателя Херста.

С целью определения порогового значения показателя Херста проведем исследования по оцениванию законов распределения показателя Херста $\hat{H}$ для временного ряда, составленного из разности моментов времени между служебными пакетами и временного ряда, составленного из разности моментов времени между информационными пакетами, а также найдем основные параметры распределений.

Для оценивания закона распределения случайной величины $\hat{H}$ (безразмерная величина) и основных числовых характеристик распределения использованы методы проверки гипотез о законе распределения [8], в основе которых лежит исследование функции распределения. Качество оценивания функции распределения требует задания соответствующей точности (доверительный интервал ε) и надежности (доверительная вероятность β). Пусть доверительный интервал равен 0,01, а доверительная вероятность составляет 0,95.

Требуемое число испытаний $N_{\text{тр}}$, обеспечивающее заданное качество оценивания функции распределения предполагаемого закона распределения случайной величины $\hat{H}$, определяется неравенством вида [4]

$$N_{\text{тр}} \geq \frac{t_\beta^2}{4\varepsilon^2}, \tag{1}$$

где t_β – табличная функция.

Для доверительной вероятности $\beta = 0{,}95$ значение табличной функции t_β равно 1,96. Тогда требуемое число испытаний составляет величину $N_{\text{тр}} = 9604$.

Гистограммы распределения случайной величины $\hat{H}$ для передачи служебных пакетов и для передачи информационных пакетов представлены на рис.1.

С целью обоснования гипотезы о законе распределения, которому подчинены результаты экспериментов в соответствии с методикой [4], по полученным экспериментальным данным необходимо рассчитать основные числовые характеристики распределения, такие, как оценка статистического среднего ($\tilde{m}_{\hat{H}}$), оценка статистической дисперсии ($\tilde{D}_{\hat{H}}$) и оценка статистического среднего квадратического отклонения – СКО ($\tilde{\sigma}_{\hat{H}}$), а также статистические оценки коэффициента асимметрии ($\tilde{a}_{\hat{H}}$) и коэффициента эксцесса ($\tilde{e}_{\hat{H}}$) по следующим выражениям:

$$\tilde{m}_{\hat{H}} = \sum_{i=1}^{\varphi} \overline{H}_i \cdot p_i^*, \;\; p_i^* = \frac{z_i}{N_{\text{тр}}}, \tag{2}$$

$$\tilde{D}_{\hat{H}} = \sum_{i=1}^{\varphi} \left(\overline{H}_i - \tilde{m}_{\hat{H}}\right) \cdot p_i^*, \;\; \tilde{\sigma}_{\hat{H}} = \sqrt{\tilde{D}_{\hat{H}}}, \tag{3}$$

$$\tilde{a}_{\hat{H}} = \frac{\tilde{\mu}_3[H]}{\left(\tilde{\sigma}_{\hat{H}}\right)^3},\ \tilde{e}_{\hat{H}} = \frac{\tilde{\mu}_4[H]}{\left(\tilde{\sigma}_{\hat{H}}\right)^4} - 3, \tag{4}$$

где $\tilde{\mu}_3\left[\hat{H}\right]$ – оценка центрального момента третьего порядка

$$\tilde{\mu}_3\left[\hat{H}\right] = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(H_i - \tilde{m}_{\hat{H}}\right)^3}{N_{\text{тр}}}; \tag{5}$$

$\tilde{\mu}_4\left[\hat{H}\right]$ – оценка центрального момента четвертого порядка

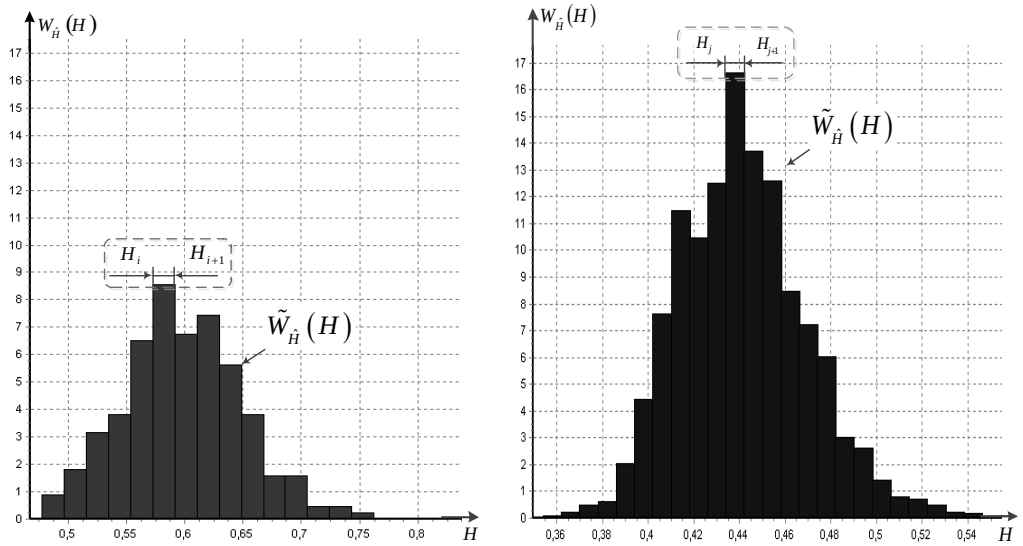
$$\tilde{\mu}_4\left[\hat{H}\right] = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(H_i - \tilde{m}_{\hat{H}}\right)^4}{N_{\text{тр}}}; \tag{6}$$

p_i^* – частота попадания вариантов случайной величины $\hat{H}$ в *i* разряд гистограммы;

z_i – число значений (вариантов) случайной величины $\hat{H}$, попавших в *i* разряд гистограммы;

φ – число разрядов, на которые делится интервал наблюдения данной случайной величины;

$\overline{H}_i$ – представитель (середина) *i*-го разряда гистограммы.



а) *б)*

Рис.1. Гистограммы распределения случайной величины $\hat{H}$:

а – служебные пакеты; б – информационные пакеты

Наличие оценок коэффициентов асимметрии и эксцесса позволяет приближенно определить гипотетический закон распределения [6]. Основные числовые характеристики распределения и результаты расчета оценок коэффициентов асимметрии и эксцесса по статистическим данным сведены в табл. 1.

В работе [4] показано, что каждому закону свойственно определенное соотношение между коэффициентами асимметрии и эксцесса (рис. 2).

Таблица 1

Сводная таблица числовых характеристик распределения

Тип пакетов	Объем выборки	Статистическое среднее	Статистическое СКО	Оценка коэффициента асимметрии	Оценка коэффициента эксцесса
Служебные пакеты	9604	0,59	0,05	0,239	0,066
Информационные пакеты	9604	0,44	0,03	1,304	5,278

Полученные значения оценок коэффициентов асимметрии и эксцесса (табл. 1) находятся вблизи от прямой 3 и точки 4, что позволяет выдвинуть начальные гипотезы о логарифмически нормальном законе распределения случайной величины $\hat{H}$ при передаче информационных пакетов и нормальном или логарифмически нормальном законах распределения случайной величины $\hat{H}$ при передаче служебных пакетов.

Для проверки гипотез о законах распределения воспользуемся методами А. Колмогорова и Н. Смирнова. В этом случае показатели согласованности распределения опытных данных по нормальному ($\hat{u}_{\text{норм}}$) и логарифмически нормальному ($\hat{u}_{\text{логнорм}}$) законам описываются следующими выражениями:

$$\hat{u}^{(\text{Колм})}_{\text{норм}} = \sqrt{N_{\text{тр}}} \max_{H} \left| F^{*(\text{норм})}_{\hat{H}}(H) - F^{(\text{норм})}_{\hat{H}^{\Gamma}}(H) \right|, \tag{7}$$

$$\hat{u}^{(\text{Колм})}_{\text{логнорм}} = \sqrt{N_{\text{тр}}} \max_{H} \left| F^{*(\text{логнорм})}_{\hat{H}}(H) - F^{(\text{логнорм})}_{\hat{H}^{\Gamma}}(H) \right|, \tag{8}$$

$$\hat{u}^{(\text{Смирн})}_{\text{норм}} = \sum_{i=1}^{k} \left[F^{*(\text{норм})}_{\hat{H}}(H) - F^{(\text{норм})}_{\hat{H}^{\Gamma}}(H) \right]^2 \cdot p_{i_{\text{норм}}}, \tag{9}$$

$$\hat{u}^{(\text{Смирн})}_{\text{логнорм}} = \sum_{i=1}^{k} \left[F^{*(\text{логнорм})}_{\hat{H}}(H) - F^{(\text{логнорм})}_{\hat{H}^{\Gamma}}(H) \right]^2 \cdot p_{i_{\text{логнорм}}}, \tag{10}$$

где $F^{*(\text{норм})}_{\hat{H}}(H), F^{(\text{норм})}_{\hat{H}^{\Gamma}}(H)$,

$F^{*(\text{логнорм})}_{\hat{H}}(H), F^{(\text{логнорм})}_{\hat{H}^{\Gamma}}(H)$ – статистическая и гипотетическая (теоретическая) функции распределения наблюдаемой случайной величины $\hat{H}$, вычисленные по логарифмически нормальному и нормальному законам распределения;

$p_{i_{\text{норм}}}$, $p_{i_{\text{логнорм}}}$ – вероятности попадания значений случайной величины $\hat{H}$ в заданный разряд гистограммы, вычисленные по логарифмически нормальному и нормальному законам распределения.

Значение уровня значимости ζ для в обоих методов примем равным 0,05, а соответствующие ему критические границы [4] равны: $u^{(\text{Колм})}_{\zeta} = 1{,}358$, $u^{(\text{Смирн})}_{\zeta} = 0{,}461$. Полученные показатели согласованности для опытных данных сведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения показателей согласованности для опытных данных

Тип пакетов	$\hat{u}_{\text{норм}}^{(\text{Колм})}$	$\hat{u}_{\text{логнорм}}^{(\text{Колм})}$	$\hat{u}_{\text{норм}}^{(\text{Смирн})}$	$\hat{u}_{\text{логнорм}}^{(\text{Смирн})}$
Служебные пакеты	1,365	0,829	0,599	0,146
Информационные пакеты	4,094	0,796	0,959	0,036

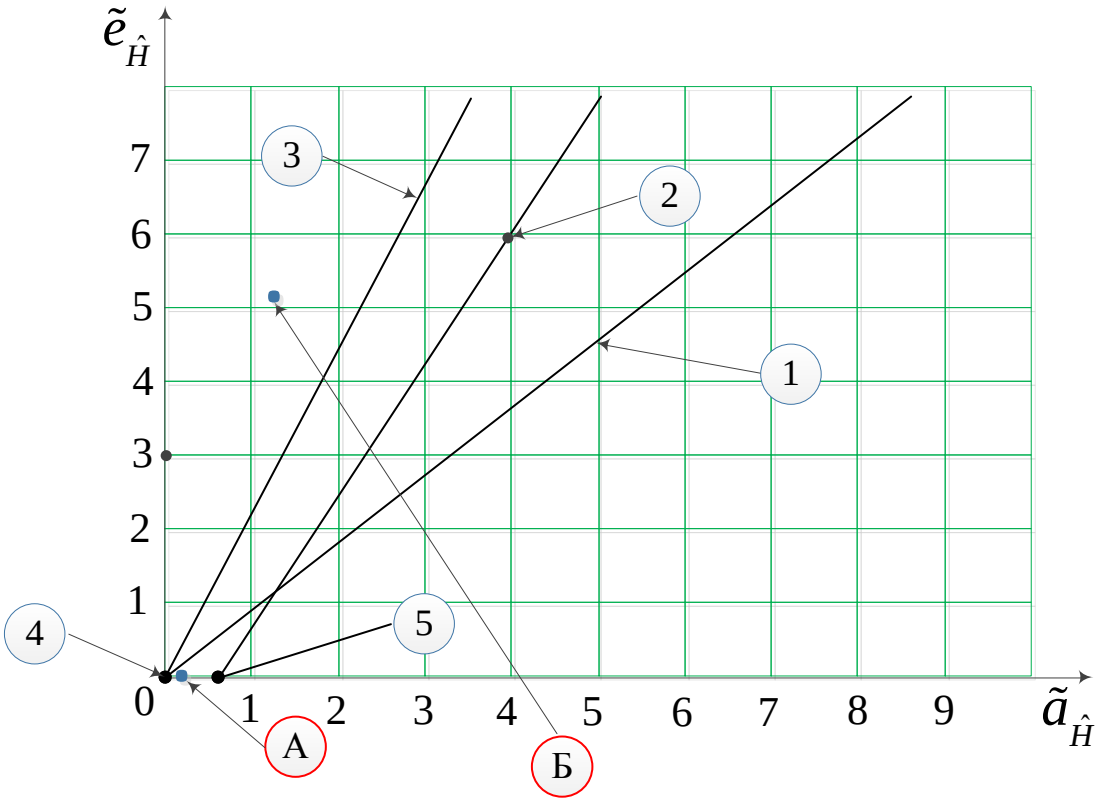


Рис.2. Взаимосвязь коэффициентов асимметрии и эксцесса для разных законов распределения:

1 – для закона Пуассона; 2 – для показательного закона; 3 – для логарифмически нормального распределения; 4 – для нормального закона; 5 – для равномерного закона; А – зависимость оценок коэффициентов асимметрии и эксцесса, полученные для служебных пакетов; Б – зависимость оценок коэффициентов асимметрии и эксцесса, полученные для информационных пакетов

Полученные значения показателей согласованности при предположении о нормальном законе распределения показателя Херста для служебных и информационных пакетов превышают критические границы при проверке соответствующими методами, т.е. $\hat{u}_{\text{норм}}^{(\text{Колм})} > u_{\zeta}^{(\text{Колм})}$, $\hat{u}_{\text{норм}}^{(\text{Смирн})} > u_{\zeta}^{(\text{Смирн})}$. Данные неравенства позволяют отвергнуть гипотезу о нормальном распределении показателя Херста исследуемых типов пакетов. Показатели согласованности, полученные для логарифмически нормального закона распределения опытных данных, не превышают критические границы, т.е. $\hat{u}_{\text{логнорм}}^{(\text{Колм})} < u_{\zeta}^{(\text{Колм})}$, $\hat{u}_{\text{логнорм}}^{(\text{Смирн})} < u_{\zeta}^{(\text{Смирн})}$. Статистические и теоретические функции распределения представлены на рис.3.

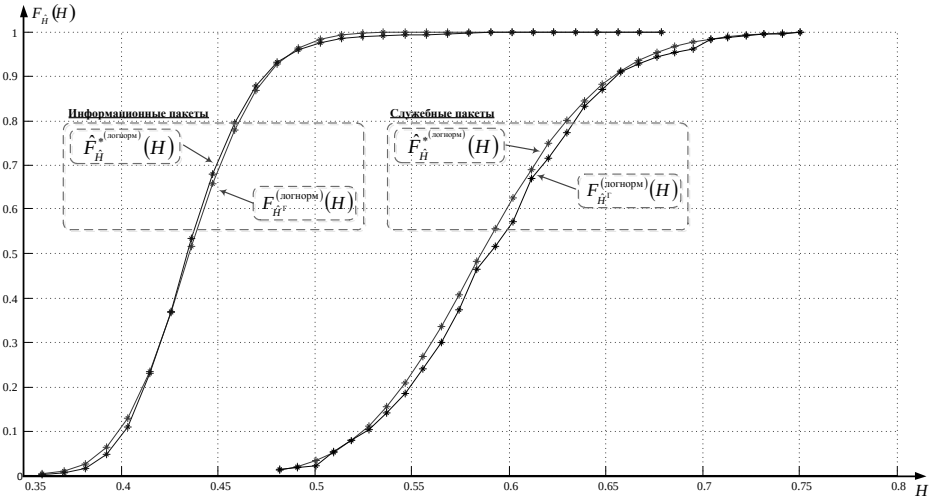


Рис.3. Статистическая и теоретическая функции распределения показателя Херста опытных данных для логарифмически нормального закона распределения

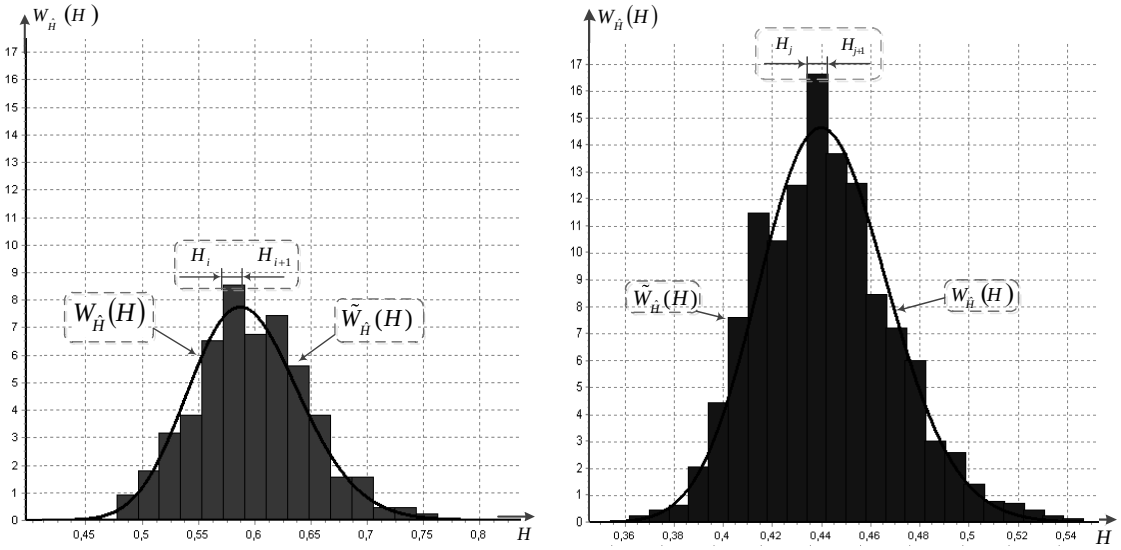
Таким образом, аппроксимацию полученных статистических распределений необходимо осуществлять с помощью логарифмически нормального закона распределения:

$$W_{\hat{H}}(H) = \frac{1}{\tilde{\sigma} \cdot H \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left\{ -\frac{(\ln(H) - \tilde{Me})}{2\tilde{\sigma}^2} \right\}, \qquad (11)$$

где $\tilde{Me}$ – оценка медианы статистического распределения опытных данных;

$\tilde{\sigma}$ – оценка СКО статистического распределения опытных данных.

Гистограммы и аппроксимирующие кривые распределения для случая передачи служебных пакетов и для случая передачи информационных пакетов представлены на рис.4.



а) б)

Рис.4. Гистограммы и аппроксимирующие кривые распределения случайной величины $\hat{H}$:

а – служебные пакеты; б – информационные пакеты

Поскольку поведение информативного признака $\hat{H}$ носит случайный характер, то задача определения типа передаваемых данных сводится к задаче статистической проверки альтернативных гипотез [5]:

Γ_0 – временной ряд соответствует передаче информационных пакетов;

Γ_1 – временной ряд соответствует передаче служебных пакетов.

Правило принятия решения относительно истинности той или иной гипотезы формулируется следующим образом:

– если значение признака удовлетворяет условию $\hat{H} > H_{\text{порог}}$, то справедлива гипотеза Γ_1;

– если значение признака удовлетворяет условию $\hat{H} < H_{\text{порог}}$, то справедлива гипотеза Γ_0.

Правило принятия решения относительно истинности основной и альтернативной гипотез можно представить так:

$$\Gamma(H) = \begin{cases} \Gamma_0 / \hat{H} < H_{\text{порог}}, \\ \Gamma_1 / \hat{H} \geq H_{\text{порог}}. \end{cases} \quad (12)$$

Пусть область принятия гипотезы Γ_0 соответствует области допустимых значений D_0, а области принятия гипотезы Γ_1 – критическая область D_1. Задание критической области сводится к заданию критических точек [11].

При определении типа передаваемых пакетов имеют место следующие случайные события:

– $\hat{A}$ – верна гипотеза Γ_0;

– $\hat{\bar{A}}$ – верна гипотеза Γ_1;

– $\hat{B}$ – наблюдаемое значение $\hat{H}$ попало в область D_0;

– $\hat{\bar{B}}$ – наблюдаемое значение $\hat{H}$ попало в область D_1.

В силу того что рассмотренные события являются случайными, им могут быть поставлены в соответствие вероятности наступления описанных событий. Их вероятности обозначим следующим образом:

p_{11} – вероятность правильного решения о факте передачи информационных пакетов;

p_{12} – вероятность ложного решения о факте передачи информационных пакетов;

p_{21} – вероятность ложного решения о факте передачи служебных пакетов;

p_{22} – вероятность правильного решения о факте передачи служебных пакетов.

Величины вероятностей $p_{11}, p_{12}, p_{21}, p_{22}$ зависят от размеров и расположения области D_0 допустимых значений и критической области D_1. Поэтому, предъявляя соответствующие требования к вероятностям $p_{11}, p_{12}, p_{21}, p_{22}$, необходимо определить расположение и размеры данных областей, т.е. критические границы.

В рассматриваемом случае, когда из априорной информации известны только условные законы распределения результатов наблюдений случайной величины $\hat{H}$, удобно использовать критерий минимальной вероятности ошибки. Его сущность состоит в том, что минимизируется вероятность принятия неправильного решения, т.е. сумма вероятностей ошибок первого и второго рода должна быть минимальной [3].

Анализ совместных событий с соответствующими вероятностями исходов $p_{11}, p_{12}, p_{21}, p_{22}$ показывает, что в первом и последнем исходах принимается правильное решение, а решения, принимаемые во втором и третьем случаях, ошибочны. Ошибка, соответствующая исходу $\hat{A} \cap \hat{\bar{B}}$, называется ошибкой первого рода, а ошибка, соответствующая исходу $\hat{\bar{A}} \cap \hat{B}$, – ошибкой второго рода. Применительно к решаемой задаче вероятность ложного решения о передаче информационных пакетов равна p_{12}, а вероятность ложного решения о передаче служебных пакетов – p_{21}.

Согласно критерию минимума вероятности ошибки критическая точка $H_{\text{порог}}$ выбирается таким образом, чтобы сумма вероятностей ошибок первого и второго рода была минимальной, т.е. выполнялось условие

$$H_{\text{порог}} = \arg \min_{\{H_{\text{порог}}\}} \left(p_{12} + p_{21}\right). \tag{13}$$

Если исследуемые случайные величины подчинены логарифмически нормальному закону распределения, то минимум суммы вероятностей ошибок первого и второго рода достигается при выборе критической границы в абсциссе точки пересечения кривых распределения.

Для отыскания точки функций $W_{\hat{H}_{\text{порог}}|\Gamma_0}\left(H_{\text{порог}}\right)$ и $W_{\hat{H}_{\text{порог}}|\Gamma_1}\left(H_{\text{порог}}\right)$ с известными параметрами необходимо решить относительно параметра $H_{\text{порог}}$ следующее уравнение [9]:

$$\frac{1}{\hat{H}_{\text{порог}} \cdot \tilde{\sigma}_{\hat{H}_{\text{порог}}|\Gamma_0} \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{\left(\ln\left(\hat{H}_{\text{порог}}\right) - \tilde{Me}_{\hat{H}_{\text{порог}}|\Gamma_0}\right.}{2\tilde{\sigma}^2_{\hat{H}_{\text{порог}}|\Gamma_0}}\right\} =$$

$$= \frac{1}{\hat{H}_{\text{порог}} \cdot \tilde{\sigma}_{\hat{H}_{\text{порог}}|\Gamma_1} \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{\left(\ln\left(\hat{H}_{\text{порог}}\right) - \tilde{Me}_{\hat{H}_{\text{порог}}|\Gamma_1}\right)}{2\tilde{\sigma}^2_{\hat{H}_{\text{порог}}|\Gamma_1}}\right\}. \tag{14}$$

В результате подстановки числовых значений, проведенных преобразований и решения квадратного уравнения относительно искомого параметра получили значение порога $H_{\text{порог}} = 0{,}5061$.

Значения вероятности ложного решения о факте передачи информационных пакетов $p_{12} = 2{,}23 \cdot 10^{-2}$, а вероятности ложного решения о факте передачи служебных пакетов $p_{21} = 2{,}96 \cdot 10^{-2}$. Соответственно вероятность правильного решения о факте передачи информационных пакетов $p_{11} = 9{,}704 \cdot 10^{-2}$, а вероятность правильного решения о факте передачи служебных пакетов $p_{22} = 9{,}777 \cdot 10^{-2}$. Полученные результаты проиллюстрированы на рис.5.

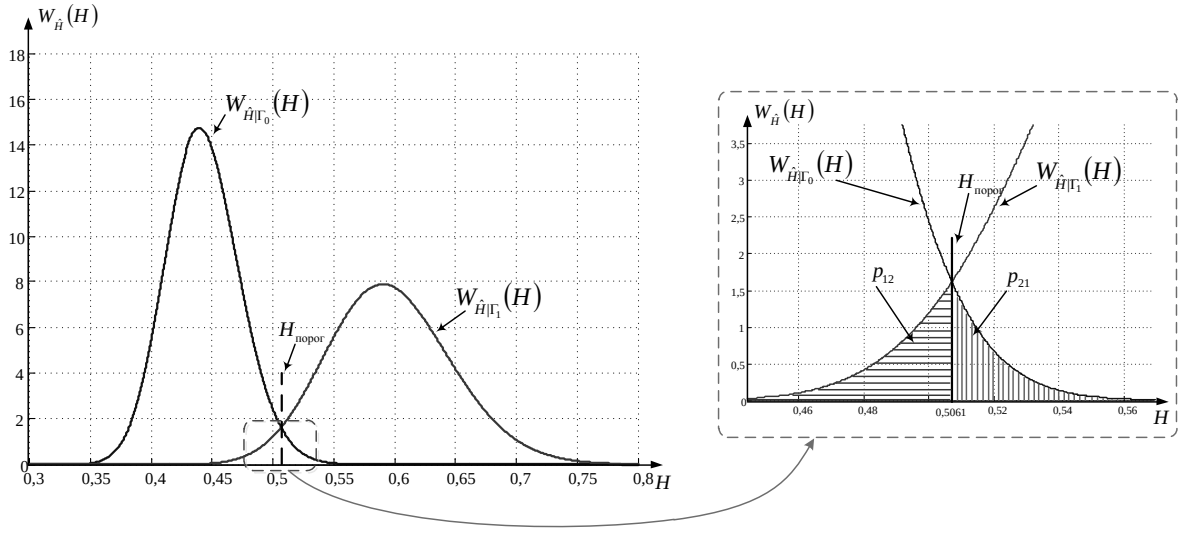


Рис.5. Пороговое значение показателя Херста

Учитывая малую величину суммы вероятностей ошибки, можно сделать вывод о надежности выявленного признака для распознавания вида передаваемых данных в групповых сигналах ССС с МДВР.

ВЫВОД

Для выявления статистических закономерностей служебных пакетов канала управления предлагается использовать показатель Херста. Расчет порогового значения данного показателя позволяет в условиях априорной неопределенности относительно наличия канала управления в групповом сигнале, выделить подмножество пакетов формирующих канал управления ССС с МДВР и отделить его от информационных пакетов, формирующих абонентскую нагрузку.

Таким образом, применение показателя Херста для распознавания служебных пакетов канала управления в групповых сигналах ССС с МДВР является весьма актуальным при проведении радиомониторинга в интересах компетентных органов и в условиях широкого распространения различных типов оборудования данных систем.

Список используемых источников

1. *Григорьев В.А.* Сигналы современных зарубежных систем электросвязи. – СПб.: ВАС, 2007. – 368 с.

2. Принципы построения зарубежных спутниковых систем персональной подвижной связи / под ред. А.И. Замарина. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. – 342 с.

3. *Химмельблау Д.* Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973. – 957 с.

4. Статистические методы обработки результатов наблюдений / под ред. Р.М. Юсупова. – Л.: МО СССР, 1984. – 563 с.

5. *Кремер Н.Ш.* Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 573 с.

6. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория вероятностей и её инженерные приложения. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 464 с.

7. *Медведев В.М.* Основы обработки сигналов. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. – 126 с.

8. *Клецков Д.А.* Самоподобие служебных пакетов канала управления спутниковых систем связи с многостанционным доступом и временным разделением абонентов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014.– Вып. 644. – С.51–61.

9. *Семенов К.В.* Прикладное программирование в задачах обработки сигналов современных систем связи. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – 149 с.

И.Ю. Еремеев,
доктор техн. наук, профессор;
С.С. Старицин

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ С «БЫСТРОЙ» ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ М-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

В статье рассмотрена модель формирования недвоичных псевдослучайных последовательностей на основе двоичных линейных рекуррентных последовательностей максимальной длины. Рассмотрены закономерности частотно-временной структуры сигналов с «быстрой» псевдослучайной перестройкой рабочей частоты, позволяющие определить параметры сигналообразования в условиях структурно-параметрической неопределенности.

Ключевые слова: М-последовательности, частотно-временная структура, «быстрая» псевдослучайная перестройка рабочей частоты.

ВВЕДЕНИЕ

Связь представляет собой неотъемлемую часть современного мира. Развитие систем связи характеризуется интенсивной разработкой и внедрением новых технологий, в частности, одно из направлений – это внедрение различных принципов и способов сигналообразования. Сигналы с «быстрой» псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) представляют собой один из классов сигналов со сложной частотно-временной структурой, которые позволяют не только повысить эффективность использования частотно-временного ресурса при групповом сигналообразовании, но также и помехозащищенность систем связи [1–6], в силу чего они нашли широкое применение в сетях различного назначения.

Вследствие своей высокой скрытности сигналы с ППРЧ могут применяться при несанкционированном использовании частотного ресурса. С точки зрения деятельности службы радиоконтроля, осуществляющей радиоконтроль частотного ресурса на территории РФ, использование сигналов с «быстрой» ППРЧ делает задачи по реализации организационных и технических мер, обеспечивающих надлежащее использование радиочастот и радиочастотных каналов, радиочастотных средств и т.д., трудноразрешимыми [7]. Это связано с высокой структурной и параметрической скрытностью таких сигналов и отсутствием комплекса информативных признаков, позволяющего определить режим и параметры сигналообразования.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Структура сигнала с «быстрой» ППРЧ в полной мере определяется управляющей последовательностью, элементы которой представляют собой условные номера из адресной группы частот. Управляющая последовательность, в свою очередь, формируется по различным правилам на основе базовой недвоичной псевдослучайной последовательности (НПСП) и информационной последовательности. Существует большое число правил формирования управляющей последовательности, при этом с практической точки зрения представляют наибольший интерес четыре базовых правила: модуляционное скремблирование, частотное разнесение модуляционных символов, передача сообщений в режиме «независимой» перестройки частоты и передача сообщений частотно-временными матрицами.

В режимах модуляционного скремблирования и частотного разнесения модуляционных символов элемент управляющей последовательности определяется следующим образом:

$$z_i = x_j + k_f \cdot y_h \ , \qquad (1)$$

где z_i – i-й элемент управляющей последовательности, $i = 0(1)I$;

x_j – j-й элемент информационной последовательности, $j = 0(1)J$;

y_h – h-й элемент базовой НПСП, $h = 0(1)H$;

k_f – коэффициент разнесения по частоте, $k_f \in \{1, 2, 3, ...\}$.

Для формализации дальнейших рассуждений введем следующие обозначения:

– $M^{(\text{инф})}$ – позиционность информационной последовательности $\langle x_j \rangle_J$, $x_j \in \{0,1,..., M^{(\text{инф})} - 1\}$;

– $M^{(\text{прч})}$ – позиционность базовой недвоичной псевдослучайной последовательности (НПСП) $\langle y_h \rangle_H$, $y_h \in \{0,1,..., M^{(\text{прч})} - 1\}$;

– $M^{(\text{рез})}$ – позиционность управляющей последовательности $\langle z_i \rangle_I$, $z_i \in \{0,1,..., M^{(\text{рез})} - 1\}$;

– I, J – количество элементов на интервале наблюдения;

– H – период базовой последовательности, $H < I$;

– j, h, i – номера элементов в выборке.

Номера элементов $\langle x_j \rangle_J$, $\langle y_h \rangle_H$, $\langle z_i \rangle_I$ в выборке соотносятся следующим образом:

$$h \equiv i \bmod H \ , \ j = \left\lfloor \frac{i}{k_t} \right\rfloor , \qquad (2)$$

где $\lfloor \ \rfloor$ – округление в меньшую сторону;

k_t – коэффициент разноса информационного символа по времени.

Учитывая (2), выражение (1) можно представить в следующем виде:

$$z_i = x_{\left\lfloor \frac{i}{k_t} \right\rfloor} + k_f \cdot y_{i \bmod H} \ .$$

При $k_f = 1$ в выражении (3) имеет место режим модуляционного скремблирования, в остальных случаях – режим частотного разнесения модуляционных символов.

В общем случае позиционность результирующей последовательности определяется выражением

$$M^{(\text{рез})} = k_f \cdot (M^{(\text{прч})} - 1) + M^{(\text{инф})} . \qquad (3)$$

В режиме модуляционного скремблирования выражение (3) принимает следующий вид:

$$M^{(\text{рез})} = M^{(\text{прч})} + M^{(\text{инф})} - 1 .$$

Элементы $\langle x_j \rangle_J$ для стороннего наблюдателя в условиях априорной неопределенности относительно структуры передаваемого сообщения можно полагать случайными и распределенными по квазиравномерному закону, а именно

$$P_{\hat{x}}(x) = \begin{cases} \dfrac{1}{M^{(\text{инф})}}, \text{при} 0 \le x < M^{(\text{инф})}, \\ 0, \text{при} x < 0, x \ge M^{(\text{инф})}. \end{cases}$$

Двумерный и трехмерный ряды распределения пар и троек элементов информационной последовательности в большинстве практически значимых ситуаций также подчинены квазиравномерному закону и определяются как

$$P_{\hat{X}_{<2>}}\left(x_j, x_{j+\xi_1}\right)=\begin{cases}\dfrac{1}{\left(M^{(\text{инф})}\right)^2}, \text{ при } 0 \le x < M^{(\text{инф})},\\ 0, \text{ при } x<0,\ x \ge M^{(\text{инф})},\end{cases}$$

$$P_{\hat{X}_{<3>}}\left(x_j, x_{j+\xi_1}, x_{j+\xi_2}\right)=\begin{cases}\dfrac{1}{\left(M^{(\text{инф})}\right)^3}, \text{ при } 0 \le x < M^{(\text{инф})},\\ 0, \text{ при } x<0,\ x \ge M^{(\text{инф})}.\end{cases}$$

В работе [8] рассмотрены закономерности частотной структуры сигналов с «быстрой» ППРЧ. С целью дополнения комплекса информативных признаков, создания условий для выполнения задач службой радиоконтроля, а также расширения области исследований в этом направлении в статье рассмотрены особенности частотно-временной структуры сигналов с «быстрой» ППРЧ, сформированных на основе линейных рекуррентных последовательностей максимальной длины (М-последовательностей).

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗОВОЙ НПСП

Практический интерес для реализации ППРЧ представляют последовательности с равномерным законом распределения символов. К настоящему времени известно большое многообразие правил формирования НПСП [3–5]. Известно, что М-последовательности обладают рядом полезных свойств [3, 5], в силу чего широко применяются в радиотехнических системах. Для поиска закономерностей в частотно-временной структуре сигналов с «быстрой» ППРЧ, задаваемой управляющей НПСП, необходимо учитывать особенности, которые присущи базовым НПСП.

Один из вариантов формирования недвоичной ПСП (НПСП) на основе М-последовательностей – линейное дискретное преобразование, рассмотренное в работе [3]. Аналитическое выражение формирования имеет вид

$$y_h = \sum_{s=1}^{m} 2^{s-1} \cdot y^{(b)}_{(h+v_s)\bmod H} =$$
$$= 2^0 \cdot y^{(b)}_{(h+v_1)\bmod H} + 2^1 \cdot y^{(b)}_{(h+v_2)\bmod H} + \ldots + 2^{m-1} \cdot y^{(b)}_{(h+v_m)\bmod H}, \quad (4)$$

где $y^{(b)}_h$ – h-й элемент базовой двоичной ПСП;

v_s – величина сдвига.

В выражении (4) для сохранения свойств случайности НПСП период ПСП должен удовлетворять условию, когда $H >> m$. Период ПСП равен $2^n - 1$, где n – максимальная степень порождающего полинома.

Трехмерный ряд распределения троек смежных элементов НПСП подчинен квазиравномерному закону распределения (рис. 1) и описывается следующим выражением:

$$P_{\hat{Y}_{<3>}}\left(y_h, y_{h+1}, y_{h+2}\right)=\begin{cases}\dfrac{1}{\left(M^{(\text{прч})}\right)^2}, \text{ при } 0 \le y < M^{(\text{прч})},\\ 0, \text{ при } y<0,\ y \ge M^{(\text{прч})}.\end{cases}$$

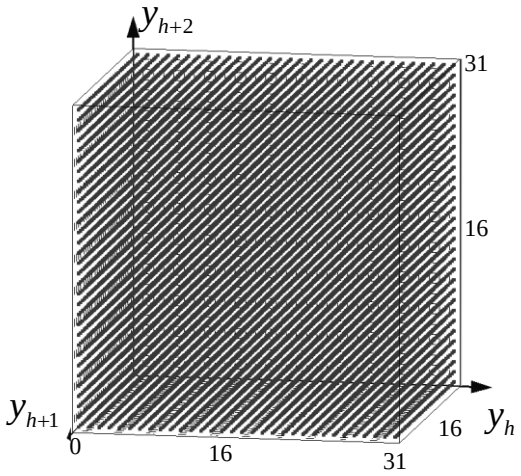


Рис.1. Ряд распределения $P_{\hat{Y}_{<3>}}(y_h, y_{h+1}, y_{h+2})$ *при* $M^{(\text{прч})}=32$

Представление $P_{\hat{Y}_{<3>}}(y_h, y_{h+1}, y_{h+2})$ в трехмерном пространстве характеризуется тем, что его ненулевые элементы образуют куб со стороной, равной позиционности базовой НПСП.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НПСП, СФОРМИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ М-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

В работах [3, 6] рассмотрена особенность М-последовательностей, суть которой заключается в следующем: существует $\left(2^{n-1}-1\right)$ вариантов троек задержек $\langle 0, \xi_1, \xi_2 \rangle$ ($\xi_1 < \xi_2$) циклического регистра сдвига (рис. 2), которые обеспечивают выполнение следующего равенства:

$$y'^{(b)}_h = \left(y_h + y_{(h+\xi_1) \bmod H} + y_{(h+\xi_2) \bmod H}\right) \bmod 2 = 0, \; h = 1(1)H . \tag{5}$$

При этом каждому значению ξ_1 соответствует единственное значение ξ_2.

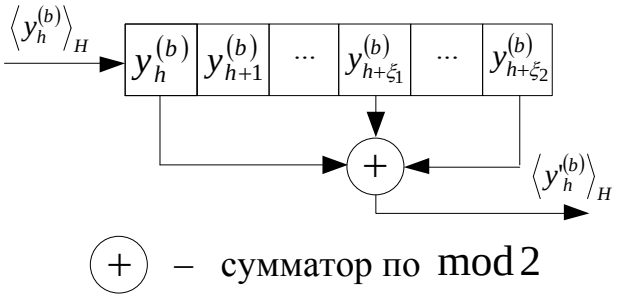


Рис. 2. Схема линейного преобразователя

На рис. 3 представлен трехмерный ряд распределения троек элементов НПСП с $M^{(\text{прч})}=32$, сформированной на основе М-последовательности с задержками циклического регистра сдвига, при которых обеспечивается выполнение равенства (5). Из рис. 3 видно, что ряд распределения троек элементов имеет небольшое количество разрешенных комбинаций.

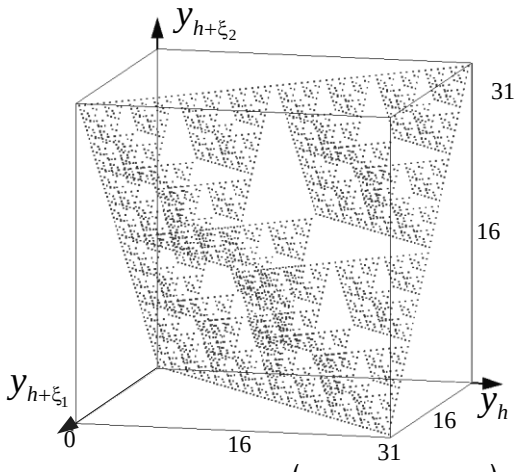


Рис. 3. Ряд распределения $P_{\hat{Y}_{<3>}}\left(y_h, y_{h+\xi_1}, y_{h+\xi_2}\right)$ *при* $M^{(\text{прч})}=32$

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЯДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Полагаем, что $\langle x_j \rangle_J$ и $\langle y_h \rangle_H$ взаимно независимы. Тогда трехмерный ряд распределения элементов $\langle z_i \rangle_I$, формируемой по правилу (1), с заданными циклическими сдвигами ξ_1 и ξ_2 относительно текущего элемента представляет собой свертку рядов распределения, а именно $P_{\hat{X}_{<3>}}(x_{\left\lfloor \frac{i}{k_t} \right\rfloor}, x_{\left\lfloor \frac{i+\xi_1}{k_t} \right\rfloor}, x_{\left\lfloor \frac{i+\xi_2}{k_t} \right\rfloor})$ и $P_{\hat{Y}_{<3>}}(y_{i \bmod H}, y_{(i+\xi_1) \bmod H}, y_{(i+\xi_2) \bmod H})$, и определяется как

$$P_{\hat{Z}_{<3>}}(z_i, z_{i+\xi_1}, z_{i+\xi_2}) =$$

$$= \sum_{d_1=0}^{(M^{(\text{инф})}-1)} \sum_{d_2=0}^{(M^{(\text{инф})}-1)} \sum_{d_3=0}^{(M^{(\text{инф})}-1)} P_{\hat{X}_{<3>}}(d_1, d_2, d_3) \cdot P_{\hat{Y}_{<3>}}(z_i - d_1, z_{i+\xi_1} - d_2, z_{i+\xi_2} - d_3).$$

Ряд распределения троек элементов управляющей последовательности с заданными циклическими сдвигами, в зависимости от значения k_f, примет вид, представленный на рис. 4,а и б. В общем случае ряд распределения элементов управляющей последовательности состоит из ненулевых смежных элементов, образующих кластеры, форма каждого из которых представляет собой куб. Куб-кластер является рядом распределения троек элементов информационной последовательности при условии, что тройки элементов управляющей последовательности принимают определенное значение. Число элементов, образующих сторону куба, численно равно позиционности информационной последовательности и определяется как

$$g^{(\text{инф})} = M^{(\text{инф})}.$$

В зависимости от значения коэффициента разнесения по частоте изменяется взаимное расположение кубов. При модуляционном скремблировании (рис. 4,а), когда $k_f = 1$, и при частотном разнесении модуляционных символов, когда $k_f < M^{(\text{инф})}$, происходит «наложение» кубов друг на друга, т. е. смежные кубы имеют общие элементы. В этом случае, с практической точки зрения, удобно оценивать параметры сечения ряда распределения (рис. 4,в и г), принимая $z_{i+\xi_2} = \text{const}$. Минимальное расстояние $u_{\min}$ между одинаковыми

сторонами любых двух кубов (квадратов на сечении) численно равно коэффициенту разнесения по частоте. В том случае, когда $k_f \geq M^{(\text{инф})}$, ряд распределения троек элементов $\langle z_i \rangle_I$ примет вид, представленный на рис. 4,б. Тогда кубы не будут иметь общих элементов.

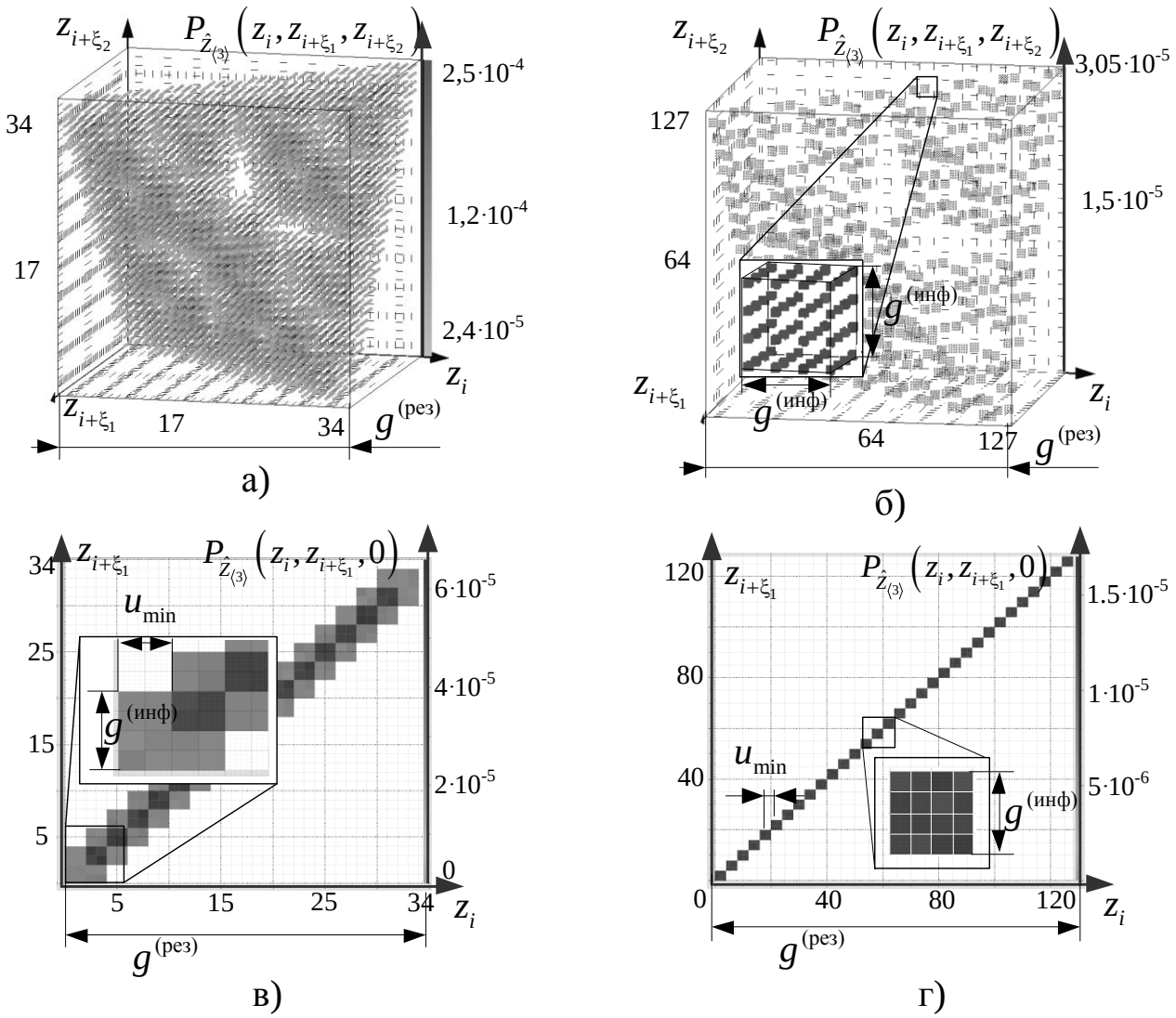


Рис. 4. Ряд распределения $\langle z_i \rangle_I$ *при* $M^{(\text{прч})}=32$, $M^{(\text{инф})}=4$:
а, б – $k_f = 1$; *в, г –* $k_f = M^{(\text{инф})}=4$

Положение куба в пространстве определяется координатой вершины куба, ближайшей к точке начала координат, и соответствует разрешенной комбинации $P_{\hat{Y}_{<3>}}\left(y_h, y_{h+\xi_1}, y_{h+\xi_2}\right)$.

В условиях неопределенности относительно параметров сигналообразования с учетом оценок $g^{(\text{инф})}$ и k_f, а также с учетом оценки позиционности управляющей последовательности $\tilde{M}^{(\text{рез})}$ выражение (3) можно представить как

$$M^{(\text{прч})} = \frac{\tilde{M}^{(\text{рез})} - g^{(\text{инф})}}{u_{\min}} + 1.$$

Таким образом, наблюдателю по результатам оценивания параметров трехмерного ряда распределения элементов управляющей последовательности с заданными циклическими сдвигами представляется возможность выдвинуть гипотезы о режиме и параметрах сигналообразования, а именно о позиционностях информационной и управляющей последовательностей и о коэффициенте разнесения по частоте.

В условиях сложной помеховой обстановки и применения средств радиоэлектронного подавления возможно применение режима разноса символов. Число частотных посылок, на которых передается информационный символ, характеризуется коэффициентом разноса по времени, который определяется как

$$k_t = \frac{\tau_{\text{инф}}}{\tau_{\text{чп}}},\ k_t \in \{1,2,...\},$$

где $\tau_{\text{инф}}$ – длительность информационного символа;

$\tau_{\text{чп}}$ – длительность частотной посылки.

Увеличение коэффициента разноса по времени позволяет в канале связи или уменьшить вероятность ошибки при неизменной помеховой обстановке, или обеспечить заданную величину вероятности ошибки в условиях ухудшающейся помеховой обстановки.

На рис. 3 показана структура трехмерного ряда распределения элементов базовой НПСП, сформированной на основе М-последовательности по правилу (4). Структура $P_{\hat{Y}_{<3>}}\left(y_h, y_{h+\xi_1}, y_{h+\xi_2}\right)$ инвариантна ко всем ξ_1 и ξ_2, обеспечивающим выполнение равенства (2). Для оценивания коэффициента разноса по времени стороннему наблюдателю необходимо оценить позиционность информационной последовательности.

В условиях априорной неопределенности относительно параметров сигналообразования наблюдатель, оценивая параметры трехмерного ряда распределения элементов управляющей последовательности с заданными циклическими сдвигами, может оценить коэффициент разноса по времени. Для этого необходимо найти все возможные варианты троек элементов НПСП $\left\langle y_h; y_{h+\xi_1}; y_{h+\xi_2}\right\rangle$, которые могут участвовать в формировании текущей тройки $\left\langle z_i; z_{i+\xi_1}; z_{i+\xi_2}\right\rangle$, при этом $P_{\hat{Y}_{\langle 3\rangle}}\left(y_h; y_{h+\xi_1}; y_{h+\xi_2}\right) \neq 0$ и $\exists\ l_0, l_1, l_2 \in \left\{0,1,...,M^{(\text{инф})}-1\right\}$, при которых

$$\left\langle y_h + l_0; y_{h+\xi_1} + l_1; y_{h+\xi_2} + l_2\right\rangle = \left\langle z_i; z_{i+\xi_1}; z_{i+\xi_2}\right\rangle. \qquad (6)$$

Учитывая равенство (6), для каждого возможного варианта $\left\langle y_h; y_{h+\xi_1}; y_{h+\xi_2}\right\rangle$ можно выдвинуть гипотезу о значениях тройки элементов информационной последовательности, участвующей в формировании $\left\langle z_i; z_{i+\xi_1}; z_{i+\xi_2}\right\rangle$ следующим образом:

$$\tilde{x}_j = l_0,\ \tilde{x}_{j+\xi_1} = l_1,\ \tilde{x}_{j+\xi_2} = l_2.$$

Таким образом, для каждого элемента управляющей последовательности ставятся в соответствие все возможные значения информационной последовательности с соответствующими вероятностями. В табл. 1 приведен вариант соответствия элементов управляющей и информационной последовательностей при $M^{(\text{прч})} = 256$, $M^{(\text{инф})} = 4$ и $k_f = 3$.

Таблица 1

Вариант соответствия элементов управляющей и информационной последовательностей

i		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
z_i		54	175	34	5	74	64	200	187	29	91	142	43	16
x_j	0	0,25	0	0,25	0	0,75	0,125	0,5	0.125	0,25	0	0,5	0.5	1
	1	0,5	0	0,25	0	0,25	0,125	0,25	0.5	0,25	0,875	0	0	0
	2	0	1	0,25	0,125	0	0,125	0	0.25	0,25	0	0,5	0.25	0
	3	0,25	0	0,25	0,875	0	0,625	0,25	0.125	0,25	0,125	0	0.25	0
λ_s			3			6						21		

В ряде случаев можно однозначно сказать, что в формировании пары смежных элементов $\langle z_{i-1}; z_i \rangle$ участвовали разные элементы информационной последовательности. В примере из табл. 1 такими парами являются: $\langle z_1; z_2 \rangle$, $\langle z_4; z_5 \rangle$ и $\langle z_{10}; z_{11} \rangle$. Отсюда следует, что позициям 2, 5 и 11 соответствует первый элемент очередного информационного символа. Для определения значения коэффициента разноса по времени необходимо вычислить на периоде наблюдения значения разности позиций i соседних границ информационных символов λ_s=<5–2; 11–5; 32–11>, где s – номер элемента в выборке $s = 0(1)S$. Наибольшее общее кратное численно равно коэффициенту разнесения по времени.

ВЫВОД

В результате анализа выявлены закономерности частотно-временной структуры сигналов с «быстрой» ППРЧ, формируемых на основе М-последовательностей. Выявленные структурно-статистические закономерности позволяют расширить комплекс информативных признаков для решения задач вскрытия параметров сигналообразования современных радиолиний службой радиоконтроля РФ.

Список используемых источников

1. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом ППРЧ / В.И. Борисов и др. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.

2. *Макаренко С.И., Иванов М.С., Попов С.А.* Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты: монография. – СПб.: Свое издательство, 2013. – 166 с.

3. Обнаружение и анализ сигналов сложной структуры / под ред. А.И. Замарина. – СПб.: МО РФ, 1996. – 524 с.

4. *Варакин Л.Е.* Теория систем сигналов. – М.: Сов. радио, 1978. – 304 с.

5. *Варакин Л.Е.* Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.

6. *Еремеев И.Ю.* Теоретические основы структурного анализа радиосигналов со сложной частотно-временной структурой: монография. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – 275 с.

7. Постановление Правительства РФ от 14 мая 2014 г. № 434. – URL: http//rg.ru/2014/05/16/radio-site-dok.html (дата обращения: 12.04.2015).

8. *Старицин С.С., Еремеев И.Ю.* Частотная структура сигналов с «быстрой» псевдослучайной перестройкой рабочей частоты в режиме частотного разнесения модуляционных символов // Вестник ВУНЦ ВВС ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина. – Воронеж: типография ВУНЦ ВВС ВВА, 2015. – Вып. №2 (23). – С. 167–170.

С.Ю. Капицын,
кандидат техн. наук;
А.В. Лысенко,
кандидат техн. наук;
Т.С. Назарова;
А.Р. Хурмаева

МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛИЧНОСТИ

Изложен анализ существующих методик определения особенностей личности по почерку. Предложен подход к оперативному построению первичного психологического портрета личности на основе автоматизированной обработки графологических признаков.
Ключевые слова: психологический портрет, графологические признаки, оперативность

ВВЕДЕНИЕ

Графология – целостная система знаний, в которой все особенности почерка тесно взаимосвязаны с особенностями жизнедеятельности и характерными поведенческими реакциями. Предметом графологии является изучение отклонений в стандартном написании текста.

Графология – учение о почерке как разновидности выразительных движений, отражающих психологические свойства и психические состояния пишущего. Первые предположения о связи почерка с душевными качествами человека делались еще в античности. Сам термин «графология» введен в литературу во второй половине 19 века во Франции. Знание азов графологии поможет оперативно и уверено ориентироваться в многообразии человеческих взаимоотношений, эффективно решать задачи рефлексивного управления объектами и др.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Рост источников почерковедческой 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 графологических 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:

– изучение особенностей невербального поведения или языка тела;

– анализ особенностей вербального общения;
– анализ особенностей 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.

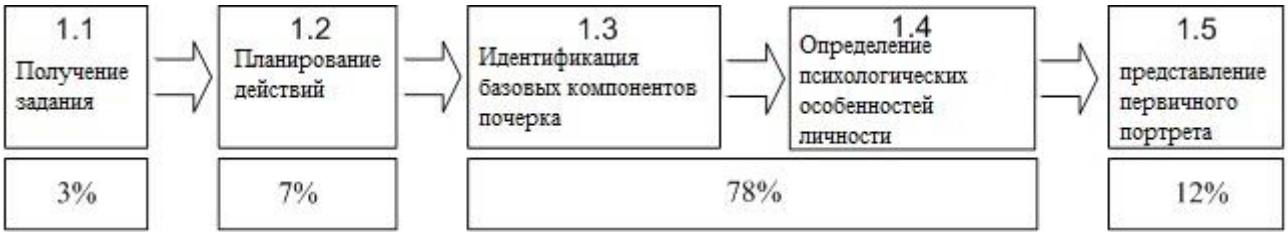


Рис. 1. Операционно-временная модель процесса изучения и составления первичного психологического портрета

Из схемы этапов процесса изучения и составления первичного психологического портрета следует, что 2/3 оперативного времени приходится на этапы идентификации базовых компонентов почерка и определения психологических особенностей объекта исследования.

Для того чтобы обеспечить возможность повышения уровня оперативности определения психологического портрета личности, предложен подход к представлению знаний о базовых компонентах почерка человека. Данный подход основывается на взаимосвязанных моделях словарей графологических признаков и статистических психологических характеристик личности, а также на механизме интеллектуальной обработки специальных данных с возможностями автоматического составления целостного психологического портрета.

Система взаимосвязанных моделей словарей специализированных данных в табличной форме представлена в табл.1 на примере компонента почерка – «наклон» [1].

Таблица 1

Система взаимосвязанных моделей словарей специализированных данных в табличной форме

Базовый компонент лица, O_n	Физиогномический признак, X_i		Статистическая психологическая характеристика, Y_j	
Наклон	X_1	Сильно влево	$У_1$	Скрытость, холодность, сдержанность
	X_2	Влево	$У_2$	Интеллектуален, хороший самоконтроль
	X_3	Прямой	$У_3$	Уравновешен, добр к окружающим
	X_4	Вправо	$У_4$	Дружественная натура, открытый человек
	X_5	Сильно вправо	$У_5$	Энергичен, любит внимание, выставляет чувства напоказ

В качестве механизма интеллектуальной обработки специальных данных – интерпретации входных графологических признаков в психологические характеристики личности предлагается использовать автомат-интерпретатор, схема функционирования которого представлена на рис.2.

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

а) состояние управляющего устройства;

б) содержимое входной ленты с положением входной головки;
в) содержимое выходной ленты.

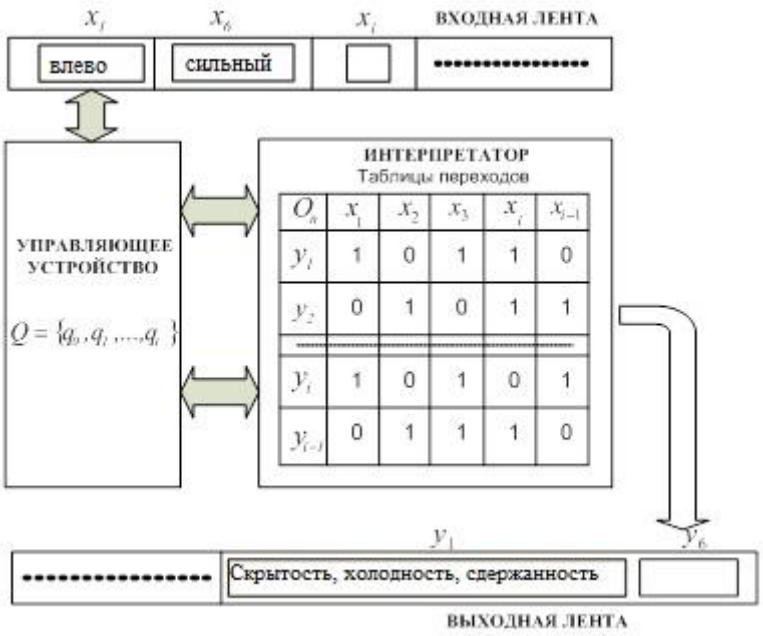


Рис. 2. Схема функционирования автомата-интерпретатора

Формальное представление автомата интерпретатора включает систему из пяти объектов:

$$M = < Q, X, Y, f, q_0 >, \quad (1)$$

где Q – конечное множество состояний;

X – алфавит входных данных;

Y – алфавит выходных данных;

f – функция переходов, при этом

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

$q_0 \in Q$ – начальное состояние.

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

1. Получение образца почерка объекта исследования.
2. Изучение индивидуальных особенностей почерка.
3. Формирование графометрического профиля.
4. Автоматическое определение психологических характеристик объекта исследования.
5. Представление первичного графологического заключения в виде отчетно-информационного документа.

Следует отметить, что противоречия, существующие в результатах отчетов работы графо-аналитической системы, обусловлены как несовершенством разработанной базы данных, так и противоречием в самой идее – часть графологических признаков заложена на генетическом уровне, часть – формируется на протяжении всей жизни. В связи с этим разработанная мето-

дика может быть дополнена параметрами, которые позволят учесть такие особенности, как родной язык, возраст и др.

В качестве примера результата работы графо-аналитической системы рассмотрим первичный психологический портрет Маршала Советского Союза Георгия Константиновича Жукова, представленный на рис.3. и 4 [2].

Рис. 3. Г.К. Жуков

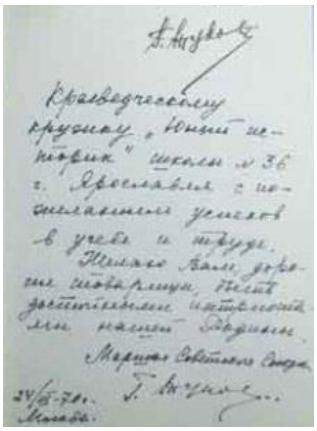


Рис. 4. Образец почерка Г.К. Жукова

Первичный психологический портрет Г.К. Жукова

Обладатель данного почерка:

- стремится к материальному благосостоянию;
- обладает высокой работоспособностью;
- умеет выбрать необходимое;
- держит эмоции под контролем;
- анализирует мысль, логичен, просчитывает все возможные варианты;
- яркий, интересный, приспосабливается к новой обстановке;
- претворяет новые идеи в жизнь;
- обладает рационализмом, стремится к независимости, самоутверждению;
- дружелюбен, коммуникабелен, скромен, довольствуется малым, практичен, расчетлив.

Достоверность данного психологического портрета не требует подтверждения.

В процессе исследования был проведен анализ почерков известных исторических личностей: А.В. Суворова, М.И. Кутузова, Петра I, Г.К. Жукова. Результаты проведенной работы были сравнены с мнением экспертов-графологов международного института графоанализа Инессы Гольдберг [3]. В результате сравнения значительных расхождений не выявлено.

Апробация аналитической системы проводилась на выставке научно-технического творчества («НТТА–2014»), проходившей с 19 по 21 ноября 2014 года на базе Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург). В ходе проведения выставки составлено 157 оперативных психологических портретов всех желающих из числа участников и приглашенных на выставку. Результаты работы графоаналитической системы по выявлению индивидуально-психологических особенностей личности были высоко оценены жюри научно-технической выставки, и данной работе был присвоен сертификат участника и почетная грамота. Оценочно можно говорить о точности выявления психологических характеристик, которая составляет 72–86 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика оперативного составления психологического портрета и ее программная реализация позволяют: 1) осуществлять широкий спектр манипуляций с набором графологических признаков и выбором психологических характеристик; 2) оперативно, в течение 4–5 минут составлять первичный психологический портрет исследуемого объекта.

Система может использоваться в качестве имитационно-моделирующего комплекса-тренажера для подготовки специалистов-графологов 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. *Зуев-Инсаров Д.М.* Почерк и личность. – К.: Перлит продакшн, ЛТД., 1992. – 96 с.
2. *Щеголев И., Чернов Ю.* Тайны почерка. – М.: Эксмо, 2009. – 256 с.
3. *Гольдберг И.* Как расшифровать почерк или графология шаг за шагом. – URL: http://www.proza.ru/2006/06/15-162 (дата обращения: 03.07.2015).

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

АНАЛИЗ ПЛАНИРОВАНИЯ СБОРА НЕКООРДИНАТНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

В работе проанализированы задачи, решаемые системой контроля космического пространства. Указаны типы некоординатной информации, источники её получения, охарактеризован процесс планирования сбора некоординатной информации. Обоснована актуальность проведения исследований, посвященных разработке методов оптимального планирования получения фотометрической информации о космических объектах. Приведена математическая постановка задачи исследования, рассмотрены частные задачи, объект и предмет исследования. Обоснована необходимость программной реализации разрабатываемого научно-методического аппарата планирования сбора фотометрической информации по космическим объектам.

Ключевые слова: некоординатная информация, специализированные средства, космические объекты, сбор некоординатной информации.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на околоземных орбитах во всех оперативных космических зонах скопилось более 20000 космических объектов искусственного происхождения с линейными размерами более 10 см, к которым можно отнести действующие и прекратившие функционирование космические аппараты (КА), пилотируемые и управляемые с Земли космические станции, последние ступени ракетоносителей, апогейные двигатели, межорбитальные буксиры, а также большое количество побочных элементов запусков и этапа эксплуатации.

Сложившаяся обстановка обуславливает исключительную важность постоянного контроля изменений космической обстановки, контроля технического состояния собственных КА и всех маневров иностранных аппаратов, в особенности военного назначения.

Анализ развития космических программ показывает, что в настоящее время ведущие космические державы уделяют значительное внимание разведывательным военным программам. В первую очередь это касается развития и модернизации информационно-разведывательных систем.

Специфика рассмотренных выше проблем порождает необходимость в проведении модернизации и развитии национальной системы контроля космического пространства (СККП), которая решает задачи, связанные с обеспечением военной безопасности государства и имеющие общенациональный характер [1].

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ СБОРА НЕКООРДИНАТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Большинство задач контроля космического пространства решается на основе оценки и анализа результатов обработки радиолокационной (РЛИ) и оптической (ОИ) информации.

Информационные средства СККП должны осуществлять непрерывный контроль околоземного космического пространства (ОКП). Решение задач своевременного обнаружения космических объектов (КО), определения параметров их орбит, распознавания назначения и каталогизации всех КА и определения маневров КА на базе одного какого-либо информационного средства практически невозможно. Поэтому СККП, как единая общегосударственная система, создана и развивается на основе комплексного использования информации специализированных средств ККП, систем предупреждения о ракетном нападении (СПРН) и противо-

ракетной обороны (ПРО), а также средств других систем Министерства обороны Российской Федерации (МО РФ) и ведомств России, обеспечивающих в ходе решения своих основных задач или дополнительно к ним наблюдение космических объектов (КО) и функционально входящих в СККП.

Информационным центром СККП является Центр контроля космического пространства, сопряженный по каналам передачи данных и связи с потребителями и источниками информации СККП и обеспечивающий централизованный сбор, обработку, обобщение данных о космических объектах и выдачу информации о КО и космической обстановке потребителям. Условия и порядок передачи в ЦККП информации о КО от взаимодействующих систем и средств закрепляются двусторонними документами.

ЦККП выполняет поставленные задачи с помощью общей боевой программы, реализованной на комплексе вычислительных средств. В состав общей боевой программы (ОБП) входят комплексы боевых программ управления вычислительным процессом, обработки координатной и некоординатной информации различных типов, планирования сбора информации по космическим объектам и формирования частных каталогов, формирования данных о космической обстановке, распознавания КО и др.

Распознавание космических объектов в отечественной СККП – это многоступенчатый процесс, в котором решаются задачи селекции КА от ракеты-носителя (РН) и фрагментов запуска, идентификации КО с известными (каталогизированными) типами КА, каталогизации (сбор НКИ) КО нового типа, контроля состояния КО известного типа.

В результате решения задачи селекции КА определяется, какой КО из группы, получившейся в результате запуска, является КА. Далее работа ведется только по нему, а остальные элементы запуска не рассматриваются, за исключением некоторых случаев, когда может наблюдаться РН.

Результатом решения задачи идентификации КО является выявление типа данного КО. Если КО был идентифицирован с известным типом и по этому типу набран полный каталог, то по КО начинает выполняться задача контроля состояния. Если КО был идентифицирован с известным типом, но по этому типу набран не полный каталог, то по КО начинает выполняться задача каталогизации и параллельно с ней может выполняться задача контроля состояния. Если КО не был идентифицирован ни с одним известным типом, то принимается решение о том, что это новый тип КО и он также передается на выполнение задачи каталогизации.

Задача каталогизации включает в себя сбор, хранение получаемой по КО информации и анализ полноты каталога. Сбор заключается в формировании запросов средствам наблюдения на получение информации по конкретным КО. Хранящиеся в каталоге признаки КО должны обладать соответствующей информативностью.

Для решения задачи распознавания КО используется некоординатная информация, которая в зависимости от источника её получения может быть:

1) радиолокационной (НКРЛИ);
2) оптической (НКОИ);
3) радиотехнической (НКРТИ).

Планирование работы специализированных средств ККП при сборе НКИ предназначено для обеспечения рационального использования технических возможностей этих средств при решении поставленных перед СККП задач.

Основной задачей специализированных средств СККП является получение НКИ для решения задач распознавания КО. Из этого следует, что требования к процессу планирования сбора НКИ должны определяться не только техническими характеристиками средств наблюдения, но и задачами распознавания КО. Процесс организации сбора оптической некоординатной информации (далее фотометрической) характеризуется рядом специфических ограничений и зависимостей:

1) работы осуществляются по конечному числу объектов;

2) планирование осуществляется на ограниченном интервале времени;

3) прохождения КО через зоны контроля носят случайный характер;

4) одним средством одновременно может обслуживаться только один КО;

5) количество КО, по которым осуществляется планирование, ограничивается числом КО, по которым решаются задачи распознавания;

6) случайный характер прохождений КО и одноканальность средств наблюдения определяют многовариантную структуру плана;

7) наличие конечного числа вариантов плана определяет необходимость в аппарате наилучшего плана из этого числа.

Проанализировав вышеперечисленные зависимости и ограничения, можно определить этапы решения задачи планирования работы специализированных средств ККП по сбору НКИ в интересах решения задач распознавания КО:

1) селекция КО из полного списка наблюдаемых, по которым необходимо проводить планирование. Эта селекция должна производиться на основании списка КО, по которым решаются задачи распознавания. Остальные КО далее не рассматриваются;

2) составление множества всех возможных планов сбора НКИ для каждого средства наблюдения. При составлении планов должны быть учтены не только технические ограничения, налагаемые средствами наблюдения, но и требования, определяемые задачами, которые решаются по каждому КО;

3) выбор одного плана из множества возможных, который лучше других удовлетворяет требованиям, определяемым в соответствии с условиями обстановки. Критерии выбора должны определяться исходя из основных задач, стоящих перед СККП на текущий момент времени;

4) учет проведенных на предыдущем интервале планирования работ при составлении плана на следующий интервал планирования. Планы работы средств при сборе НКИ должны учитывать предысторию по каждому КО, а также должна быть возможность внесения корректив при необходимости.

АНАЛИЗ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ СБОРА НЕКООРДИНАТНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

В настоящее время в ЦККП нет боевых программ, которые бы учитывали всё вышесказанное. Большая часть работ по определению списка КО для сбора НКИ и приоритетности их обслуживания на средствах ККП производится аналитиком. Таким образом, исследования, посвященные разработке методов оптимального планирования получения фотометрической информации от КО, обладают несомненной актуальностью и включают решение ряда частных подзадач, состоящих в осуществлении следующих действий:

1) проведении анализа целесообразности использования различных политик планирования обслуживания объектов наблюдения, видов приоритетов;

2) проведении оценки распределения числа КО, обладающих потенциальной возможностью быть обслуженными в течение одного сеанса функционирования информационно-разведывательного средства;

3) анализе влияния длительности интервала времени, прошедшего с момента последнего получения координатной или некоординатной информации о КО, группы событий околоземного космического пространства, связанных с КО, статистической информации, характеризующей результаты выполнения ранее спланированных работ по данному КО на значение его статического и динамического приоритета;

4) адаптации существующих алгоритмов составления оптимального расписания выполнения m работ на n узлах к задаче распределения КО между информационно-

разведывательными средствами с учетом необходимости обеспечения гарантированного обслуживания КО, обладающих наибольшим приоритетом обслуживания.

Главной целью разрабатываемого метода является обеспечение возможности осуществить такое планирование распределения средств наблюдения между объектами контроля, при котором вероятность гарантированного обслуживания объектов с приоритетом π не ниже заданного π^* принимает максимальное значение, суммарное количество обслуженных объектов *m* превышает заданный процент от общего числа КО, доступных для наблюдения, а время выполнения процедуры планирования *t* не превышает предельно допустимого значения t^*.

Таким образом, критериальная (целевая) функция, характеризующая достижение цели исследования, имеет вид

$$x^* = \arg\max_{x \in G} P(x),$$

где x – векторный аргумент $x = \{a_\pi, m, n, a_r\}$, в котором a_π – алгоритм назначения приоритетов обслуживания КО, *m* – количество КО, имеющих прохождение через контролируемый район стратегической космической зоны группировкой оптико-электронных средств мониторинга околоземного космического пространства, включающей *n* средств наблюдения, a_r - алгоритм составления расписания работ по обслуживанию объектов, находящихся в зоне контроля;

$P(x)$ – вероятность достижения цели процесса функционирования системы;

G – множество ограничений на результаты применения разрабатываемого метода планирования, включающее минимально допустимый процент обслуженных КО – w, а также значение t^*.

Специфика решения задачи планирования сбора фотометрических наблюдений заключается в том, что ее решение производится в наиболее сложных для исследования условиях – в возмущающей среде с неизвестными характеристиками, в так называемой γ среде [4]. Указанный вид возмущающих воздействий присущ оптико-электронным средствам сбора информации в связи с лежащими в основе процесса их функционирования физическими принципами распространения электромагнитных волн видимого диапазона (световой волны). На распространение данного типа волн оказывают влияние различные природные и метеорологические явления, спрогнозировать которые до уровня, позволяющего учитывать их влияние на процесс сбора информации о КО, на сегодняшний день невозможно.

В соответствии с приведенной математической постановкой задачи исследования, его частными задачами, в качестве предмета исследования наиболее целесообразно использовать методы эвристического и аналитического прогнозирования, дискретной оптимизации, теории расписаний, теории вероятностей и математической статистики.

Вводимая система приоритетов планирования объектов наблюдения должна состоять из двух компонент – статической и динамической. Статический компонент определяется на основе идентифицированных признаков объекта каталога, таких, как тип орбиты объекта, его способность к маневрированию, назначение объекта, массогабаритные характеристики. Динамический компонент определяется событиями околоземного космического пространства, отождествленными с контролируемым объектом, такими, как изменение режимов функционирования бортовой аппаратуры КА, маневрирование КА, прекращение баллистического существования объекта, обнаружение опасных сближений с другими объектами каталога [1]. Приведенный перечень включает наиболее общие и часто употребляемые характеристики,

используемые при планировании наблюдений для сбора фотометрической информации об объектах каталога и при детальном рассмотрении, и может быть существенно расширен.

В условиях наличия информационного взаимодействия между средствами наблюдения объектов возможно введение в систему приоритетов коэффициента уступчивости (любезности), характеризующего изменение динамической компоненты приоритета объекта контроля на наблюдательном средстве *i* при условии поступления информации об успешной отработке целеуказания по объекту средством *j*. Таким образом, количественное значение приоритета определяется функционалом $f(\alpha, \beta, \mu)$, где α – статический приоритет объекта, β – динамический приоритет объекта, μ – коэффициент уступчивости. Вид зависимости (линейная, квадратичная, экспоненциальная и т.д.) значения функционала $f(\alpha, \beta, \mu)$ от его параметров предстоит установить. Величины α и β в большей мере носят субъективный характер, следовательно, при расчете их значений логично использовать методы экспертных оценок, а также теорию нечетких множеств.

Распределение ранжированного по значениям функционала $f(\alpha, \beta, \mu)$ множества объектов каталога между множеством средств наблюдения по своей сути является задачей о назначениях, т.е. является комбинаторной оптимизационной задачей, относящейся к классу NP полных. Точных методов решения данной задачи на сегодняшний день не существует. Традиционными методами при решении подобных задач являются методы случайного и исчерпывающего поиска, динамического программирования, ветвей и границ [11], муравьиные и генетические алгоритмы [10], широко используемые в различных прикладных задачах [7, 8]. Наибольшего прогресса в рассматриваемой области решения задач добились с помощью методов и алгоритмов, основанных на использовании парадигмы, получившей название «разделяй и властвуй» [2].

Результаты исследований [6], посвященных оценке числа КО – *N*, чьи трассы имеют прохождения через зоны контроля современных ОЭ и РЛ средств мониторинга околоземного космического пространства, свидетельствуют о том, что распределение случайной величины (СВ), характеризующей значение *N*, обладает значительной асимметрией, а величина второго центрального момента способствует существенному накоплению ошибок в расчетах, основанных на использовании начальных моментов распределения СВ. Вместе с тем вид функции распределения СВ *N* зачастую не соответствует ни одному из классических распределений теории вероятностей и математической статистики. Решение задачи поиска вида и параметров распределения СВ *N* целесообразно осуществлять с использованием различных итерационных алгоритмов, позволяющих представить итоговую функцию распределения СВ $F(n)$ в виде смеси компонент известных классических распределений. Расщепление $F(n)$ на компоненты целесообразно производить, например, с помощью алгоритмов кластеризации данных: ИСОМАД [9], ЕМ-алгоритма и его модификаций [5, 12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение сформулированной в статье задачи выполняется за счет комплексного учета результатов решения всех вышеперечисленных частных задач исследования. Формализация данного процесса исключительно аналитическими методами приведет к результатам, выраженным через математические зависимости, сложным для восприятия и использования методом. Кроме того, большинство этапов решаемых при рассмотрении задач плохо формализуются в виде классических зависимостей значения функции от значений ее аргументов. Таким образом, обеспечение возможности применить разрабатываемый научно-методический

аппарат на практике достигается исключительно за счет программной реализации вышеописанных этапов метода.

Список используемых источников

1. *Бурлов В.Г., Чистяков С.В. , Гусеница Я.Н.* Анализ роли и места отечественной системы контроля космического пространства в обеспечении национальной безопасности Российской Федерации // Материалы XVIII Международной научно-методической конференции «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах» 17–18 февраля 2011 года. – 2011. – Т.4. – С. 224–228.

2. *Грин Д., Кнут Д.*. Математические методы анализа алгоритмов. – М.: Мир, 1987. – 120 с.

3. *Гусеница Я.Н. , Завалишин М.А. , Пестун У.А.* . Моделирование информационных средств системы контроля космического пространства, функционирующих в условиях динамически изменяющейся космической обстановки // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2011. – Вып. 632, ч. 1. – С. 44–49.

4. *Калинин В.Н.* Морфологический анализ проблематики теории системных исследований // Труды СПИИРАН. – СПб.: СПИИРАН, 2013. – Вып. 1(24). – С. 89–105.

5. *Карытко А.А., Пророк В.Я.*. Применение медианной модификации стохастического ЕМ-алгоритма для анализа характеристик потока заявок в распределенных вычислительных системах // Проблемы управления рисками в техносфере: научно-аналитический журнал. – СПб.: Университет ГПС, 2014. – №2 (30). – С. 83–90.

6. *Карытко А.А.* Анализ вычислительной нагрузки спецвычислителя системы мониторинга космического пространства // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения». – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014. – Ч.2, т.1. – С. 33–37.

7. *Петрич Д.О., Кругляк Ю.Л., Загрутдинов Ю.А.* Научно-методический подход к оптимизации структуры многопроцессорного вычислительного комплекса радиолокационной станции высокой заводской готовности Войск воздушно-космической обороны // «Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли». – 2013. – Т.V, № 3. – С. 293–301.

8. Разработка системы поддержки принятия решения о выборе рационального варианта структуры многопроцессорной вычислительной системы радиолокационной станции высокой заводской готовности / Д.О. Петрич, Д.И. Сарбалиев, И.А. Бондарев, И.В. Калякин // Труды конференции военно-научного общества курсантов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2013. – С. 245–254.

9. Статистическая обработка данных: учеб. пособие / В.Я. Пророк, Т.Н. Ермакова, А.Н. Пугачев и др.; под общ. ред. С.Г. Ермакова. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012. – 105 с.

10. *Рутковский Л.* Методы и технологии искусственного интеллекта. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010.

11. *Таха Хемди А.* Введение в исследование операций. –7-е издание. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.

12. *Королев Ю.В.* Вероятностно-статистические методы декомпозиции волатильности хаотических процессов. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – 510 с.

С.В. Новиков,
кандидат военных наук;
Д.В. Андрушкевич

ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

В статье рассмотрена разработка нового подхода к контролю безопасности информации, основанного на случайной регистрации нарушений безопасности. Актуальность предложенного подхода связана с ростом числа нарушений информационной безопасности в многоплатформенных автоматизированных системах и несовершенством современных методов и средств в оперативном централизованном контроле реального состояния автоматизированных систем.

Ключевые слова: контроль безопасности информации, случайная регистрация, нарушения безопасности информации.

ВВЕДЕНИЕ

При проведении любых работ по обеспечению безопасности автоматизированных систем (АС) немаловажным и заслуживающим особого внимания является вопрос контроля безопасности информации в них. Контроль заключается в проверке выполнения законодательства Российской Федерации по вопросам защиты информации, решений ФСТЭК Российской Федерации, а также в оценке обоснованности и эффективности принятых мер защиты для обеспечения выполнения утвержденных требований и норм по защите информации.

Контроль безопасности информации может быть обеспечен применением следующих услуг безопасности – управления доступом, криптографии и т.д. Общепринятыми являются подходы, включающие постоянный контроль трафика АС на предмет обнаружения вторжений (мониторинг сети) и периодическое проведение анализа АС на наличие уязвимостей (аудит сети).

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПОДХОДОВ К КОНТРОЛЮ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В АС

Рассмотрим особенности существующих подходов к контролю безопасности информации в АС (рис. 1).

Рис.1. Основные подходы к контролю безопасности информации

Управление доступом. Способ управления доступом составляет основу политики безопасности. Он определяет порядок доступа субъектов системы к объектам системы. Название

этого способа, как правило, определяет название политики безопасности. Для изучения свойств способа управления доступом создается его формальное описание – математическая модель. При этом модель должна отражать состояния всей системы, ее переходы из одного состояния в другое, а также учитывать, какие состояния и переходы можно считать безопасными с точки зрения данного управления.

На данный момент наиболее известными и распространенными моделями управления доступом являются [1]:

– дискреционная (Discretionary Access Control, DAC) – модель, в которой владелец ресурса сам задает права доступа к нему;

– мандатная (Mandatory Access Control, MAC) – модель, в которой режим доступа субъекта к объекту определяется установленным режимом конфиденциальности.

Несколько позже, чем DAC и MAC, появилась ролевая модель контроля доступа (Role Based Access Control, RBAC).

Дискреционная модель доступа. Основными свойствами DAC являются следующие:

– все субъекты и объекты должны быть идентифицированы;

– права доступа субъекта к объекту системы определяются на основании некоторого внешнего по отношению к системе правила.

К достоинствам дискреционной политики безопасности можно отнести относительно простую реализацию соответствующих механизмов защиты.

К недостаткам относится статичность модели (данная политика безопасности не учитывает динамику изменений состояния АС, не накладывает ограничений на состояния системы). Еще одной особенностью DAC, которую можно отнести к недостаткам, является то, что все объекты в системе принадлежат субъектам, которые настраивают доступ к ним для других.

Мандатная модель доступа. Основными свойствами MAC являются следующие:

– все субъекты и объекты системы должны быть однозначно идентифицированы;

– задан линейно упорядоченный набор меток секретности;

– каждому объекту системы присвоена метка секретности, определяющая ценность содержащейся в нем информации – его уровень секретности в АС;

– каждому субъекту системы присвоена метка секретности, определяющая уровень доверия к нему в АС, – максимальное значение метки секретности объектов, к которым субъект имеет доступ; метка секретности субъекта называется его уровнем доступа.

Основная цель мандатной политики безопасности – предотвращение утечки информации от объектов с высоким уровнем доступа к объектам с низким уровнем доступа, т.е. противодействие возникновению в АС информационных каналов сверху вниз.

Многоуровневые модели предполагают формализацию процедуры назначения прав доступа посредством использования так называемых меток конфиденциальности или мандатов, назначаемых субъектам и объектам доступа.

Важное достоинство мандатной модели – формальное доказательство утверждения: если начальное состояние системы безопасно и все переходы системы из состояния в состояние не нарушают ограничений, сформулированных политикой безопасности, то любое состояние системы безопасно.

Недостаток мандатной модели – сложность реализации соответствующих механизмов защиты. Множество операций ограничивается операциями чтения (поток данных направлен от объекта к субъекту) и записи (поток направлен от субъекта к объекту).

Ролевое управление доступом. Основная идея ролевой модели контроля за доступом (Role-Based Access Control – RBAC) основана на максимальном приближении логики работы системы к реальному разделению функций персонала в организации.

Основными достоинствами ролевой модели управления доступом являются: простота администрирования; иерархия ролей; принцип наименьшей привилегии; разделение обязанностей.

К недостаткам можно отнести следующее: в ролевых моделях нет строгих доказательств безопасности системы в соответствии с определенными формализованными критериями. Поэтому их безопасность основывается на контрольных механизмах дискреционных или мандатных моделей, средствами которых регулируется доступ ролевых субъектов к объектам системы.

Управление потоками информации. Одним из известных способов управления потоками информации (выходящих) в АС является экранирование, которое осуществляется с помощью фильтрации IP пакетов. Суть данного метода, реализованного в межсетевых экранах (МЭ), заключается в том, что в правила пакетной фильтрации МЭ может вводиться информация о параметрах IP пакета, данные о протоколах, используемых в сервисах (т.е. эталонные характеристики), проходящих через МЭ пакетов. МЭ пропускает через себя весь трафик, принимая относительно каждого проходящего пакета решение – пропускать его или отбросить.

Существует два основных варианта исполнения МЭ: программный и программно-аппаратный.

К достоинствам программного варианта исполнения МЭ можно также отнести простоту интеграции с сервисами ОС и использование более привычного метода установки и настройки. К недостаткам можно отнести: непрогнозируемую производительность, необходимость подстройки ОС, ориентированность на конкретную платформу.

Специализированные программно-аппаратные решения обладают следующими достоинствами: простотой внедрения в технологию обработки информации; простотой управления; отказоустойчивостью и высокой доступностью; высокой производительностью и надежностью; специализацией на защите.

Недостаток программно-аппаратных решений заключается в том, что обновление уязвимостей часто сложнее, чем у аппаратных решений.

На сегодняшний день практически ни одна АС, использующая Internet, не обходится без применения технологии VPN (Virtual Private Network) – виртуальной частной сети [2].

VPN позволяют организовать прозрачное для пользователей соединение локальных сетей, сохраняя секретность и целостность передаваемой информации с помощью шифрования. При этом при передаче по Интернет шифруются не только данные пользователя, но и сетевая информация – сетевые адреса, номера портов и т. д. Технология виртуальных частных сетей позволяет применять сети общего пользования для построения защищенных сетевых соединений [3].

Технология VPN выполняет две основные функции: шифрование данных для обеспечения безопасности сетевых соединений и туннелирование протоколов.

Главная выгода использования технологии VPN – совокупность стоимостной эффективности возможного использования общественной сетевой среды для транспортной сетевой среды с целью транспортирования частной информации и достижения высокого уровня безопасности. Также к достоинствам виртуальной частной сети можно отнести то, что она использует существующую сетевую инфраструктуру и реализуется без промедления.

К недостаткам относится то, что использование шифрования вызывает дополнительную сетевую нагрузку, которая, с большой вероятностью, не сможет быть обработана существующими шлюзовыми устройствами или другим оборудованием, поэтому эти аппаратные средства должны быть закуплены дополнительно. Встраивание виртуальной частной сети в существующую сеть может также быть в некоторых сетевых средах сложной задачей из-за дополнительных накладных расходов на пакет. Существуют определенные проблемы с проектированием виртуальных частных сетей, требующие достаточно высокой квалификации персонала.

Конфигурационное управление. Обычно конфигурационное управление (КУ) применяют в процессе разработки программного обеспечения (ПО). Работы по конфигурационному управлению ПО включают: управление и планирование процессов управления конфигураци-

ей ПО, идентификацию программных конфигураций, контроль конфигураций, учет статусов конфигураций, аудит, а также управление выпуском (release management) и поставкой (delivery).

Управление конфигурацией ПО контролирует эволюцию и целостность продукта, идентифицируя его элементы, управляя и контролируя изменения, а также проверяя, записывая и обеспечивая отчетность по конфигурационной информации.

Стандартизация процесса конфигурационного управления позволяет не только упорядочить процесс разработки ПС, но также имеет огромное значение для процесса сопровождения ПС, так как гарантирует заказчику независимость от поставщика ПС и возможность передать сопровождение ПС другому исполнителю [5].

Контроль целостности. Контроль целостности файловых объектов представляет собой самостоятельную задачу защиты информации. При этом основой механизмов контроля целостности файловых объектов является проверка соответствия контролируемого объекта эталонному образцу. Например, на основе криптографических функций (хеш-функция)[6].

По способу технической реализации средств криптографической защиты информации можно выделить две группы: программные и аппаратные. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Достоинства аппаратного способа – высокая производительность, простота, защищенность. Недостаток – существенно большая стоимость. К достоинствам программного способа можно отнести следующие: практичность, гибкость, т.е. возможность быстрого изменения шифрования. Однако при всех своих достоинствах он обладает следующим недостатком – существенно меньшим быстродействием по сравнению с аппаратными средствами.

Другим способом проверки соответствия текущей и эталонной характеристики объекта является полная копия данных. Создаются полные копии данных и потом сверяются. К достоинствам данного метода можно отнести простоту реализации и полный контроль данных. К недостаткам – большой объем, возможность подмены и использования копии (например, если данные – пароль).

Среди разнообразных способов реализации контроля целостности файлов также можно выделить расчет контрольной суммы. Для осуществления расчета контрольной суммы можно воспользоваться одним из разработанных алгоритмов, по возможности усовершенствовав его для лучшей производительности в данных условиях. CRC32 – универсальный алгоритм расчета контрольной суммы, который может применяться для контроля целостности файлов, однако он имеет ряд недостатков, одним из которых в условиях низкой производительности вычислительной техники может стать длительное время произведения расчетов. Достоинство данного метода: высокая скорость вычисления.

Мониторинг сети. Под мониторингом сети обычно понимается технология наблюдения за ресурсами сети, генерации сигналов тревоги и выработки адекватных диагностических решений. Организация процедур мониторинга является одним из необходимых условий реализации комплексной политики безопасности. В основе мониторинга безопасности лежит анализ сетевого трафика. Задача контроля трафика решается при помощи так называемых систем обнаружения вторжения (Intrusion Detection Systems, IDS). Системы обнаружения вторжения (СОВ) являются элементом системы защиты информации автоматизированных систем, функционирующих на базе вычислительных сетей, и применяются совместно с другими средствами защиты информации от несанкционированного доступа к информации в автоматизированных системах [7].

СОВ должны обеспечивать обнаружение и (или) блокирование угроз безопасности информации, а также обнаружение и (или) блокирование угроз безопасности информации, которым подвержены сами СОВ.

СОВ, в зависимости от технологий защиты, которые они реализуют, бывают двух видов: СОВ сетевого уровня (сети) и СОВ системного уровня (хоста). СОВ уровня сети должны обеспечивать сбор информации об информационных потоках, передаваемых в рамках сег-

мента автоматизированной системы, в котором установлены датчики. СОВ уровня узла должны обеспечивать сбор информации о событиях, происходящих на узлах автоматизированной системы, на которых установлены их сенсоры (датчики). Сенсоры СОВ уровня узла предназначены для сбора информации о передаваемых пакетах данных и (или) о событиях, связанных с работой общесистемного и прикладного программного обеспечения. Еще существуют гибридные СОВ – хостовые СОВ, использующие и анализ сетевых пакетов, приходящих на данный хост (используют обе технологии).

Выделяют три основных подхода обнаружения вторжений сетевого уровня – обнаружение сигнатур (signature detection, misuse detection), обнаружение аномалий (anomaly detection) – и гибридный подход [8].

Основой для обнаружения аномалий является понятие «нормального» поведения. Тогда любые отклонения от нормальности система рассматривает как аномалию. Обнаружение аномалий обычно включает в себя процесс установления профилей нормального поведения пользователей, сравнение действительного поведения с этими профилями и сигнализацию об отклонениях от нормального поведения. Профили определяются как множества метрик, которыми являются измерения частных аспектов поведения системы или пользователя. Для каждой метрики предусматривается или порог, или диапазон разрешенных значений.

Использование СОВ в сетевом трафике имеет свои достоинства:

– могут определяться атаки в реальном масштабе времени путем поиска по сигнатурам, соответственно возможно блокирование атак до достижения ими цели;

– нарушитель не может скрыть следы своей деятельности, поскольку анализируется весь трафик;

– имеется возможность обнаружения неудавшихся атак или подозрительной деятельности.

Однако СОВ сетевого уровня имеют и свои недостатки:

– такие системы трудно применимы в высокоскоростных сетях;

– сетевые агенты неэффективно работают в коммутируемых сетях и сетях с канальным шифрованием.

Основной подход обнаружения вторжений системного уровня – анализ журналов регистрации (log, audit trail), создаваемых ОС, прикладным ПО, маршрутизаторами и т. д. Записи журнала регистрации анализируются и интерпретируются системой обнаружения вторжений. К достоинствам этого метода относится простота его реализации. Однако за этой простотой скрывается немало недостатков:

– для достоверного обнаружения той или иной подозрительной деятельности необходима регистрация в журналах большого объема данных, что отрицательно сказывается на скорости работы контролируемой системы;

– нет унифицированного формата хранения журналов;

– анализ уже записанных в журнал регистрации записей говорит о том, что анализ осуществляется не в реальном режиме времени; это свидетельствует о том, что данные не могут быть применимы для раннего обнаружения атак в процессе их развития;

– отсутствует возможность обнаружить атаки, которые направлены на объекты, не использующие журналы регистрации или для которых не существует соответствующей реализации агента.

Аудит сети. Для решения задачи анализа сети на наличие уязвимостей должен существовать инструмент, позволяющий выявлять и анализировать уязвимости сети и выдавать рекомендации по их устранению. Такие инструменты есть и называются они средствами анализа защищенности (за рубежом эти средства называют сканирующим обеспечением или просто сканерами, а также сканерами безопасности).

Системы анализа защищенности (security assessment systems) (САЗ), также называемые сканерами безопасности или системами поиска уязвимостей, проводят всесторонние исследования контролируемых ресурсов с целью обнаружения уязвимостей. Результаты, которые

получаются от средств анализа защищенности, представляют собой «мгновенный снимок» (snapshot) состояния защищаемой системы на данный момент времени. Главная цель таких систем – определить слабости защищаемой системы, т. е. потенциальную возможность реализации атак.

САЗ условно можно разделить на два класса [9]:

– первый класс, к которому принадлежат сетевые сканеры, иногда называют средствами анализа защищенности сетевого уровня.

– второй класс, к которому относятся все остальные средства, иногда называют средствами анализа защищенности системного уровня.

Данные классы средств имеют свои достоинства и недостатки, а на практике взаимно дополняют друг друга.

Достоинства сетевых сканеров: для функционирования сетевого сканера необходим только один компьютер, имеющий сетевой доступ к анализируемым системам, поэтому в отличие от продуктов, построенных на технологии программных агентов, нет необходимости устанавливать в каждой анализируемой системе своего агента (своего для каждой ОС). Кроме того, сканеры являются более простым, доступным, дешевым и, во многих случаях, более эффективным средством анализа защищенности.

К недостаткам сетевых сканеров можно отнести большие временные затраты, необходимые для сканирования всех сетевых компьютеров из одной системы, и создание большой нагрузки на сеть. Кроме того, в общем случае трудно отличить сеанс сканирования от действительных попыток осуществления атак. Сетевыми сканерами также с успехом пользуются нарушители.

К достоинствам САЗ системного уровня можно отнести следующие:

– являются потенциально более мощным средством, чем сетевые сканеры;

– программные агенты обычно способны выполнять более сложные проверки и анализировать параметры ПО, недоступные сетевым сканерам, так как они действуют изнутри;

– анализ защищенности, выполняемый программными агентами, может планироваться по времени и выполняться одновременно на всех контролируемых компьютерах;

– программные агенты не оказывают большого влияния на пропускную способность сети;

– осуществляют шифрование (защита данных путем использования криптографических методов и гарантия невозможности чтения информации без знания секретного ключа) результатов проверок при передаче данных по сети;

– имеют более высокую точность.

К недостаткам САЗ системного уровня относится то, что этот метод более медленный, чем сканирование.

ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД К КОНТРОЛЮ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

Проведенный анализ подходов к контролю безопасности информации АС показывает, что ни один из них не лишен существенных недостатков и ни один из них не может быть самостоятельно применен для достижения требуемой эффективности контроля и принятия своевременных мер по устранению выявляемых угроз безопасности информации.

Одни из главных составляющих контроля безопасности – это процедура регистрации и последующая обработка данных по наиболее критичным событиям в системе обеспечения безопасности [12].

В настоящее время существуют два типа систем регистрации: детерминированный и случайный. Детерминированность заключается в применении средств контроля в определенных, заранее выбранных временных точках контроля и по определенному алгоритму. Под случайной регистрацией понимается случайный контроль действий, происходящих в АС, когда продолжительность и момент проведения процедуры регистрации заранее не определены

[13]. Основными преимуществами системы случайной регистрации нарушений безопасности информации, по сравнению с системами детерминированной регистрации, являются меньшие затраты на проведение регистрации и достаточно сильное психологическое дисциплинирующее влияние, оказываемое на потенциального нарушителя.

Рассмотрим синтез оптимальной системы случайной регистрации с использованием игрового подхода [13]. Предположим, что процесс регистрации состоит из непересекающихся интервалов времени, в которые и осуществляется регистрация. Интервал времени, в который проводится регистрация, назовем интервалом регистрации. Предположим, что длины всех интервалов регистрации одинаковы, фиксированы и равны τ, причем $T = k\tau, k \in N$, интервалы регистрации могут располагаться на $[0,T]$ только таким образом, чтобы начало каждого из них принадлежало бы множеству моментов времени $\{t_i\} = \{0, \tau, 2\tau, \ldots, k\tau = T\}$. Процесс внесения нарушений состоит из непересекающихся интервалов времени, причем длительность любого из них ограничена снизу числом $\eta = \text{const}$, которое определяется техническими характеристиками системы контроля АС. Поскольку случай минимальных расстояний между моментами ввода нарушений соответствует максимальному числу нарушений и является наихудшим для администрации системы контроля АС, положим, что длительность любого интервала из указанных фиксирована и равна η. Положим, что $\eta \geq \tau$.

В результате ограничения временного интервала регистрации работа случайной системы регистрации по своему действию приближается к работе детерминированной системы на каждом интервале регистрации τ.

В рамках данного подхода будем рассматривать модели:

– детерминированной системы внесения нарушений в работу АС (ДСН), т. е. пользователя;

– детерминированной системы регистрации частного вида (ДСР);

– административных воздействий на ДСН при обнаружении факта внесения нарушений в работу АС;

– взаимодействия ДСН и ДСР.

В исследуемых моделях функционирование системы случайной регистрации определяется распределением вероятностей на множестве всех возможных ДСР.

Обозначим ДСР через вектор $X = (x_i)_1^{k+1}$, компоненты которого определяются следующим образом:

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{если с } t_i \text{ начинается интервал регистрации,} \\ 0, \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где t_i – момент времени, соответствующий началу i-го интервала регистрации, и назовем точкой контроля, $i = \overline{1, k+1}$.

ДСН обозначим через вектор $Y = (y_j)_1^{k+1}$, компоненты которого определяются следующим образом:

$$y_j = \begin{cases} 1, \text{если } \exists\, j\colon\ t_i \succ \upsilon_j, \\ 0, \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где υ_j – момент времени, соответствующий внесению j-го нарушения, и назовем точкой нарушения ИБ АС.

Будем говорить, что точка контроля t_i контролирует точку нарушения υ_j $(t_i \succ \upsilon_j)$, если и только если выполнены условия: $t_i \leq \upsilon_j, \forall\, m\colon (m > i)\ \&\ (m \leq k+1) \Rightarrow t_m > \upsilon_j$.

Рассмотрим модель взаимодействия ДСР и ДСН.

Положим, что нарушение, соответствующее υ_j, обнаружено тогда и только тогда, когда в точке контроля осуществляется регистрация, т.е. когда $x_i y_j = 1$. Число обнаруженных точек нарушений при заданных ДСР и ДСН определяется скалярным произведением $W(X,Y) = (X,Y)$, а число необнаруженных точек нарушений определяется скалярным про-

изведением $W_1(X,Y) = ((E - X), Y)$, где E – вектор с единичными компонентами, вес которого составляет $k + 1$ ($|E| = k + 1$).

Рассмотрим ограничения на функционирование ДСР. Поскольку общее время регистрации ограничено, то

$$(E, X) \leq k_0. \quad (1)$$

Рассмотрим ограничения на функционирование ДСН. Нарушения вносятся на ограниченном интервале времени

$$(E, X) \leq n_0. \quad (2)$$

Интервалы времени внесения нарушений не пересекаются. Введем величину l_0: $(l_0\tau \geq \eta)\&\left((l_0 - 1)\tau < \eta\right), l_0 \in N$. Пусть $\overline{y}$ – любой набор из l_0 стоящих подряд точек контроля. Пусть V=$\{y\}$ – множество всех возможных таких наборов. Перенумеруем элементы множества V и введем величины:

$$c_{i_m} = \begin{cases} 1, \text{если } \exists\, i\colon t_i \in \overline{y}_m, \\ 0, \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Указанное выше ограничение можно записать в виде набора неравенств:

$$\sum_{i=1}^{k+1} c_{i_m} y_i \leq 1 \;\forall\, m = \overline{1, |V|}. \quad (3)$$

Следует учесть, что ДСН несет потери при обнаружении точек нарушений. Рассмотрим функцию нарушений ДСН

$$\Phi(X,Y) = \begin{cases} 0, \text{если } W(X,Y) \leq M, \\ \infty, \text{если } W(X,Y) \geq M + 1. \end{cases}$$

Предполагается существование порогового числа M обнаруженных точек нарушений:

если $W(X,Y) \leq M$, то ДСН потерь не несет;
если $W(X,Y) > M$, то потери велики.

Очевидно, что при использовании функции потерь данного типа наиболее разумным будет выбор Y, для которого

$$(E,Y) \leq M. \quad (4)$$

Пусть потери администрации системы контроля АС от действия ДСН линейны по $W_1(X,Y)$, т.е. $F(X,Y) = \mu W_1(X,Y)$.

Будем считать, что цель ДСР – уменьшение $F(X,Y)$ при ограничениях (1), а цель ДСН – увеличение $F(X,Y)$ при ограничениях (2)–(4).

Назовем ДСР (ДСН) допустимой тогда и только тогда, когда $X(Y)$ удовлетворяет ограничениям (2)–(4).

Рассмотрим матричную игру Г, в которой чистая стратегия игрока 1 есть допустимая ДСР, чистая стратегия игрока 2 есть допустимая ДСН, функцией выигрыша является $W(X,Y)$, величина η удовлетворяет условию $\eta = m_0\tau, m_0 \in N$; Ω_x, Ω_y – множества X и Y.

Назовем стратегию $X \in \Omega_x$ базисной, если

$$\sum_{i=1}^{k-m_0} x_i = k_0 \text{ и } \sum_{i=1}^{k+1} x_i = k_0.$$

Обозначим через U_x множество базисных ДСР.

Введем на Ω_x отношение доминирования $X_1 \succ X_2 \Leftrightarrow \forall\ Y \Rightarrow (X_1,Y) \geq (X_2,Y)$.

Из определения базисной стратегии следует: для $\forall\, X \in \Omega_x \backslash U_x\ \exists\, X^* \in U_x \Rightarrow X^* \succ X$.

Легко увидеть, что

$$|U_x| = C^{k_0}_{k-m_0+1}. \quad (5)$$

Назовем распределение вероятностей P на Ω_xслучайной системой регистрации.

Будем говорить, что случайная система регистрации P^*оптимальна, если она является решением игры Г.

Прямое решение игры Г известными методами [14], как видно из выражения (5), может встретить значительные вычислительные трудности. Поэтому для нахождения субоптимальных стратегий и оценки игры Г рассмотрим вспомогательную игру Γ_A:

Величина τ равна величине $\eta \Rightarrow m_0 = 1$,тогда ограничения (3) пропадают и остаются $|Y| \le k$ и $|Y| \le M$, которые конкурируют.

Рассмотрим случай, когда $M \le k$.

Пусть на Ω_y введены отношение доминирования и базис Ω_y.

Очевидно, что справедливо следующее утверждение: для $\forall\ Y \in \Omega_y \backslash U_y \exists\, Y^* \in \Omega_y \Rightarrow Y^* \succ \succ Y$.

С использованием множества $D_x = \{X \in \Omega_x : |X| = 1\}$ одноточечных стратегий можно доказать следующее утверждение: равномерное распределение F^* на U_x и равномерное распределение Q^* на U_y являются оптимальными смешанными стратегиями игроков 1 и 2 соответственно в игре Γ_A.

Следствие 1. Среднее количество нарушений АС в системе случайной регистрации P^* оценивается числом

$$\widetilde{W} = \mu M(1 - \frac{k_0}{k}). \quad (6)$$

Следствие 2. Синтез субоптимальной системы случайной регистрации можно осуществлять вариацией M и k_0.

Как видно из анализа соотношения (6), нарушения АС будут нулевыми тогда и только тогда, когда или $k_0 = k$, т.е. осуществляется сплошная регистрация, или $M = 0$, т. е. недопустимо внесение ни одного нарушения. Поскольку ресурсы на регистрацию обычно [14] ограничены, а условие $M = 0$ нереально, то администрация системы контроля АС вынуждена назначить границу допустимых нарушений: $\widetilde{W} \le w$. Исходя из этого ограничения на ресурсы подбираются M и k_0.

Для определения характеристик распределения нарушений и моментов включения системы регистрации в работу воспользуемся статистическими выборочными методами [14]. Сущность таких методов состоит в том, что они позволяют по некоторой выборке судить о всей совокупности событий. Событием в данной системе считается момент времени появления нарушения при функционировании АС. При этом началом отсчета является начало смены, суток или другого отчетного периода.

Пусть при первоначальном сборе исходных данных в моменты времени t_1 были обнаружены нарушения. Повторим этот контроль несколько раз. Поскольку накопление данных связано с большими трудностями, для увеличения вероятности правильного определения закона распределения нарушений воспользуемся методом порядковых статистик. Введем ряд понятий и определений, позволяющих получить аналитические выражения для определения моментов регистрации.

Упорядоченную по времени появления последовательность событий $t_1^{(\tau)} \le t_2^{(\tau)} \le \cdots \le \le t_\tau^{(\tau)}$ будем называть вариационным рядом. Члены вариационного ряда $t_l^{(\tau)}$ $(l = 1, 2, \ldots, \tau)$ называются ранговыми статистиками. Число $\pi_l - \frac{l}{\tau}$ называется рангом члена $t_l^{(\tau)}$. Два или более нарушений, происшедших в один период регистрации, ранжируется в порядке их появления.

Статистика $V_\tau(t)$, равная числу значений выборки, меньших t,

$$\{V_\tau(t) = l\} = \left\{t_l^{(\tau)} \le t \le t_{l+1}^{(\tau)}\right\}, \qquad l = 0,1, \dots, \tau$$

называется эмпирической частотой. Случайная величина $V_\tau(t)$ равна числу наступления событий $\{\xi < t\}$ в независимых испытаниях, так что эмпирическая частота $V_\tau(t)$ имеет биномиальное распределение с параметром

$$p = P\{\xi < t\} = p(t)\colon\ p\{V_\tau(t) = l\} = c_\tau^l p^l(t)(1 - p(t)^{2-l}, \qquad l = 0, 1, \dots, \tau.$$

Распределение членов вариационного ряда (порядковых статистик) определяется по распределению эмпирической частоты:

$$p\left\{t_l^{(\tau)} < t\right\} = p\{V_\tau(t \ge l)\} = \sum_{k=l}^{\tau} c_\tau^k p^k(t)(1 - p(t))^{\tau-k}.$$

Приближенное представление порядковых статистик при больших τ называется асимптотическим представлением. Преобразование членов вариационного ряда по формуле

$$z_l^{(\tau)} = \tau p(t_l^{(\tau)})$$

дает плотность распределения $q_\tau(z)$ случайных величин $z_l^{(\tau)}$ в виде

$$q_l^{(\tau)}(z) = c_{\tau-1}^{l-1}\left(\frac{z}{\tau}\right)^{l-1}(1 - \frac{z}{\tau})^{\tau-l}.$$

В случае конечного ранга, когда $l = [\tau q]$, т. е. для целых l, удовлетворяющих неравенствам $0 < \frac{l}{\tau} \le q < \frac{l+1}{\tau} \le 1$, преобразование членов вариационного ряда с конечным рангом $z_q^{(\tau)} = p(t_{[\tau q]}^{\tau})$ дает плотность $z_q^{(\tau)}$ в виде $g_q(z) = c_{\tau-1}^{l-1} z^{l-1}(1 - z)^{\tau-l}$, которая в окрестности точки $z{=}q$ аппроксимируется плотностью нормального распределения с параметрами $(q, \sqrt{\frac{q(1-q)}{\tau}})$, где q – среднее значение; $\sqrt{\frac{q(1-q)}{\tau}}$ – среднеквадратичное отклонение.

Это позволяет случайную величину z представить асимптотически при $z \to \infty$ в виде $z_q^{(\tau)} = q + u\sqrt{\frac{q(1-q)}{\tau}}$, где u имеет нормальное распределение с параметрами (0, 1).

При этом средние члены вариационного ряда $t_{[\tau q]}^{\tau}$ асимптотически представлены в виде

$$t_{[\tau q]}^{(\tau)} = x_q + \frac{u}{p(x_q)}\sqrt{\frac{q(1-q)}{\tau}}, \qquad (7)$$

где x_q – квантиль порядка q распределения $p(t)$, т. е. $P(x_q) = q_i p(t)$, где $P(x_q)$ – плотность исходного распределения (квантилем порядка q называется корень уравнения $p(t){=}q$).

Разработанная теоретическая модель позволяет определить начальную точку работы системы случайной регистрации и рассчитать интервал времени до повторного контроля. На первом этапе из известных допустимых затрат на регистрацию и стоимости ведения регистрации в течение кванта регистрации определяется допустимое количество точек включения системы регистрации в работу. Квантом регистрации назовем минимальный промежуток (период) времени работы системы регистрации, который выбирается на основании технических характеристик системы регистрации и интенсивности потока инцидентов нарушений безопасности информации. Он не должен быть слишком малым, так как включение системы регистрации на малый промежуток времени нецелесообразно из-за невозможности зафиксировать достаточное количество обращений к объектам регистрации. В то же время при увеличении кванта регистрации уменьшается количество включений системы случайной регистрации в работу.

Используя накопленные статистические данные о нарушениях, имеющих место в АС, определяются вид и характеристики закона распределения нарушений. Моменты времени включения системы регистрации в работу определяются по формуле (7).

Таким образом, в статье предложен новый подход к контролю безопасности информации, основанный на случайной регистрации, в связи с тем, что она имеет ряд преимуществ, к которым относятся меньшие затраты на проведение регистрации и сильное психологическое дисциплинирующее влияние на потенциального нарушителя. Научная новизна изложенного материала заключается в применении систем случайной регистрации нарушений для оценивания систем безопасности АС. Предложенные методы, лежащие в основе подхода, позволяют оптимальным образом организовать функционирование системы случайной регистрации, в результате чего осуществляется фиксация большого количества нарушений, происходящих за период функционирования АС. Повышается эффективность функционирования АС на 10–12% за счет роста достоверности и сохранности информации [12].

В дальнейшем предполагается разработка модели наблюдения нарушений безопасности на основе синтеза системы случайной регистрации нарушений безопасности информации.

Список используемых источников

1. *Гайдамакин Н.А*. Теоретические основы компьютерной безопасности. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. – 212 с.

2. *Соколов А.В., Шаньгин В.Ф.* Защита информации в распределенных корпоративных сетях и системах. – М.: ДМК Пресс, 2002. – 656 с.

3. *Лебедь С В.* Межсетевое экранирование. Теория и практика защиты внешнего периметра. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 304 с.

4. *Девянин П.Н.* Модели безопасности компьютерных систем: учеб. пособие. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 144 с.

5. *Лапыгин Д.В.* Конфигурационное управление ПО и стандарты предприятия. – URL: АйТи, Москва dlapygin@it.ru (дата обращения: 20.10.2014).

6. *Баричев С.Г.* Криптография без секретов. – 2002. – URL: http:/www/docs.h1.ru/crypto01.htm (дата обращения: 13.09.2014).

7. ФСТЭК России. Требования к системам обнаружения вторжений. – М., 2012.

8. *Платонов В.В.* Программно-аппаратные средства защиты информации: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 336 с.

9. *Астахов А.* Анализ защищенности корпоративных автоматизированных систем // Jet Info. – 2002. – №7(110). – С. 1–28.

10. Разработка систем информационно-компьютерной безопасности: учеб. пособие. / В.М. Зима, М.М. Котухов, А.Г. Ломако и др.– СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2003. – 327 с.

11. *Грушо А.А., Применко Э.А., Тимонина Е.Е.* Теоретические основы защиты информации. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 272 с.

12. Информационная безопасность систем организационного управления. Теоретические основы / Н.А. Кузнецов, В.В. Кульба, Е.А. Микрин и др.; отв. редакторы: А.Н. Кузнецов, В.В. Кульба; Ин-т проблем передачи информ. РАН: в 2 т. – М.: Наука, 2006. – Т. 1. – 495 с.

13. *Шелков А.Б., Ковалева О.Н.* Проектирование оптимальных систем регистрации в АСУ // Перспективы развития РАСУ УССР. – Киев: ИК АН УССР, 1984. – С. 89–100.

14. *Шелков А.Б., Миронов П.Б., Никитин М.Ю.* Синтез систем случайной регистрации на основе игровых моделей. Методы разработки модульных систем обработки данных // Методы разработки модульных систем обработки данных. – М.: ИПУ, 1990. – С. 25–29.

К.Л. Восканян,
кандидат физико-матем. наук
ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (г. Санкт-Петербург);
Л.И. Дивинский,
доктор физико-матем. наук
ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (г. Санкт-Петербург);
А.Д. Кузнецов,
доктор физико-матем. наук
ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (г. Санкт-Петербург);
О.С. Сероухова,
кандидат физико-матем. наук
ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (г. Санкт-Петербург);
Т.Е. Симакина,
кандидат физико-матем. наук
ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (г. Санкт-Петербург)

ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАЙН-ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

В работе рассматривается схема текущего прогнозирования приземной температуры воздуха на основе экстраполяции временных рядов кубическими сплайнами, производится оценка успешности прогноза.

Ключевые слова: приземная температура воздуха, временной ряд, сплайн-экстраполяция, текущее прогнозирование.

Автоматизация метеорологических измерений привела к возможности значительного сокращения времени, которое тратится на составление прогнозов. Это позволило использовать прогнозы погоды с малой заблаговременностью – вплоть до 2 ч и менее. Прогнозы с такой заблаговременностью называются текущими [1]. Потребителями текущего прогноза являются авиация, водный транспорт, строительные организации, МЧС, ЖКХ и т.д. Для осуществления текущего прогноза можно использовать большое количество методов. В статье [2] нами был рассмотрен эвристический подход, основанный на применении аппарата нейронных сетей. Рассматриваемый в данной работе подход можно назвать аналитическим.

В настоящей статье анализируются результаты текущего прогноза приземной температуры воздуха с заблаговременностью до 2 ч, выполненного на основе информации о временных рядах, полученных автоматической метеорологической станцией РГГМУ с дискретностью 15 мин. Оценка успешности прогнозирования производилась путем сравнения прогностических значений с измеренными.

Технология прогнозирования заключалась в следующем. Выбирались фрагменты временного ряда приземных значений температуры воздуха за двое суток (192 значения), соответствующие различным сезонам. В начале каждого такого ряда выбирался фрагмент – обучающая выборка, длина которой зависела от схемы эксперимента. По этому фрагменту рассчитывались параметры прогностической модели, и на их основе производился прогноз с дискретностью 15 мин и заблаговременностью до 2 ч. Полученные прогностические значения сравнивались с измеренными для тех же моментов времени. Затем обучающая выборка сдвигалась на один временной шаг вперед, и процедура прогноза и оценки его качества по-

вторялась. После достижения конца выбранного фрагмента численные эксперименты проводились для следующего двухсуточного фрагмента.

При расчете коэффициентов прогностической функции по обучающей выборке используется многоинтервальная интерполяция элементов обучающей выборки, обладающая дополнительными (по сравнению с обычной интерполяцией) свойствами [3]. А именно сплайн-интерполирующий полином обеспечивает не только равенство его значений в интерполяционных узлах, но и непрерывность заданного числа производных на границах узлов. В таком случае сочетаются достоинства аппроксимации (можно учитывать большое число узлов), и при этом исключаются осцилляционные эффекты, присущие классическим интерполяционным полиномам больших степеней.

При проведении численных экспериментов варьировались схемы расчета коэффициентов сплайна. Во-первых, менялось число узлов в обучающей выборке: от 4 до 12. Кроме того, исследовались четыре варианта предварительного сглаживания исходных данных (данных в обучающей выборке): 1) без сглаживания; 2) сглаживание, которое проводилось по трем точкам, 3) сглаживание по пяти точкам, 4) сглаживание по семи точкам. В результате сложились 10 схем экспериментов, параметры которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Схемы численных экспериментов

Параметры	Условный номер (схема) экспериментов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество узлов	4	4	4	4	6	6	12	12	12	16
Количество точек сглаживания	0	3	5	7	0	5	0	5	7	5

Для сравнения прогностических значений приземной температуры, вычисленных по обучающей выборке, с фактическими значениями из контрольной выборки найдены среднеквадратические отклонения (СКО), представленные на графике рис. 1.

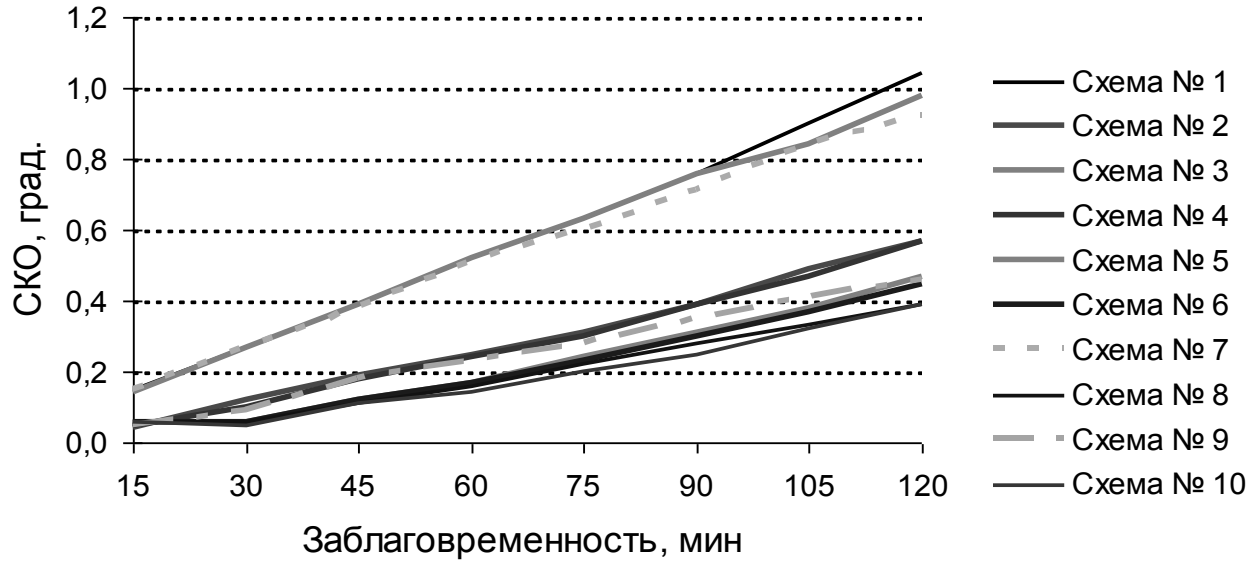


Рис. 1. Зависимость среднеквадратических отклонений прогностических значений приземной температуры воздуха от измеренных в зависимости от заблаговременности прогнозов

Кривые иллюстрируют зависимость ошибок от заблаговременности прогноза для разных схем расчета параметров сплайна. Анализ поведения этих кривых показывает, что во всех случаях погрешность прогноза увеличивается с ростом заблаговременности. Это общая тенденция, она проявляется практически во всех случаях. Однако, что очень существенно, характер роста ошибок зависит от использованной схемы расчета параметров сплайна. Оптимальным оказалось использование 16 узлов в обучающей выборке при проведении предварительного сглаживания обучающего ряда по пяти точкам (схема № 10).

Из анализа расположения кривых на рис. 1 следует наличие двух резко различающихся групп кривых: верхние – с номерами схем эксперимента 1, 5 и 7 и нижние – с номерами схемы эксперимента 2, 3, 4, 6, 8, 9 и 10. Нетрудно видеть, что такое разделение на две группы связано с проведением или непроведением предварительного сглаживания данных измерений. Схемы первой группы оказались не пригодными для проведения текущего прогнозирования приземной температуры воздуха, т.е. при отсутствии предварительного сглаживания метод сплайн-экстраполяции является мало эффективным. Схемы эксперимента из второй группы дают неплохие и близкие результаты, причем здесь есть и возможность оптимизации – наилучшей оказывается схема под номером 10. Наличие сглаживания существенно повышает точность текущего прогнозирования. Как будет показано ниже, аналогичное разделение схем прогнозов на два класса наблюдается и в других случаях использования метода сплайн-экстраполяции.

Затем указанные временные ряды были проанализированы на наличие тренда и периодических составляющих по методике, изложенной в работе [4]. После исключения линейного тренда и трех периодических составляющих полученные ряды вновь участвовали в тех же численных экспериментах, что позволило провести соответствующее сопоставление.

Кривые на рис. 2 позволяют проанализировать изменение величины среднеквадратической погрешности прогноза методом сплайн-экстраполяции в зависимости от его заблаговременности.

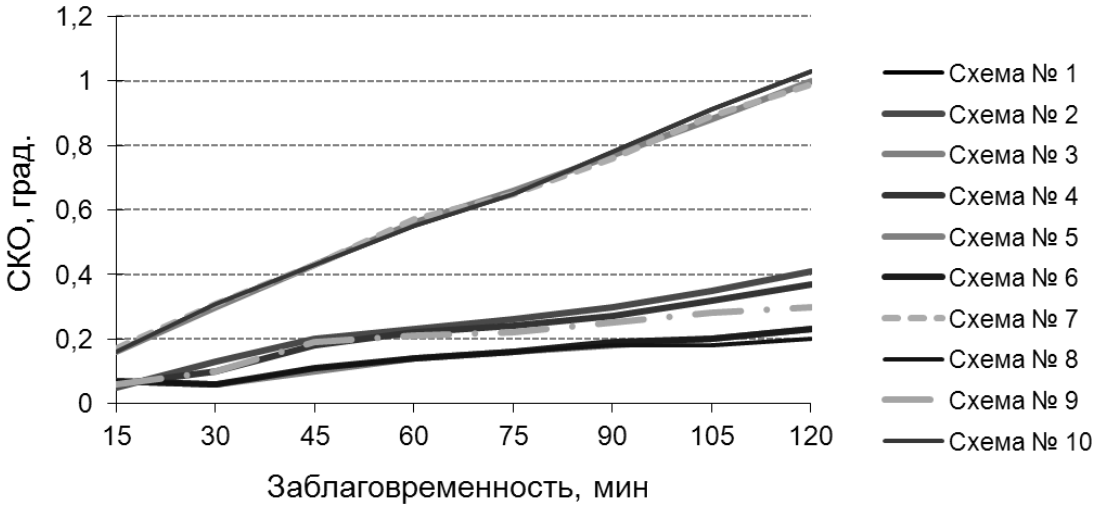


Рис. 2. Зависимость среднеквадратических отклонений прогностических значений приземной температуры воздуха от измеренных в зависимости от заблаговременности прогнозов после исключения тренда и периодических составляющих

Из анализа поведения кривых на рис.2 видно, что после исключения тренда и периодических составляющих по-прежнему появляются две резко различающиеся группы кривых: верхние – со схемой эксперимента без сглаживания 1, 5 и 7 и нижние – с номерами схемы эксперимента 2, 3, 4, 6, 8, 9 и 10. Как и ранее, ошибки прогноза растут с увеличением забла-

говременности. Однако оптимальная схема прогноза изменилась. Теперь в качестве оптимальной можно рекомендовать сразу три схемы – с номерами 3, 6 и 8.

Зависимость погрешности текущего прогнозирования от номера схемы эксперимента наглядно иллюстрируют рис. 3 и 4. На обоих рисунках отчетливо проявляются три пика, соответствующие номерам схемы эксперимента 1, 5 и 7 .

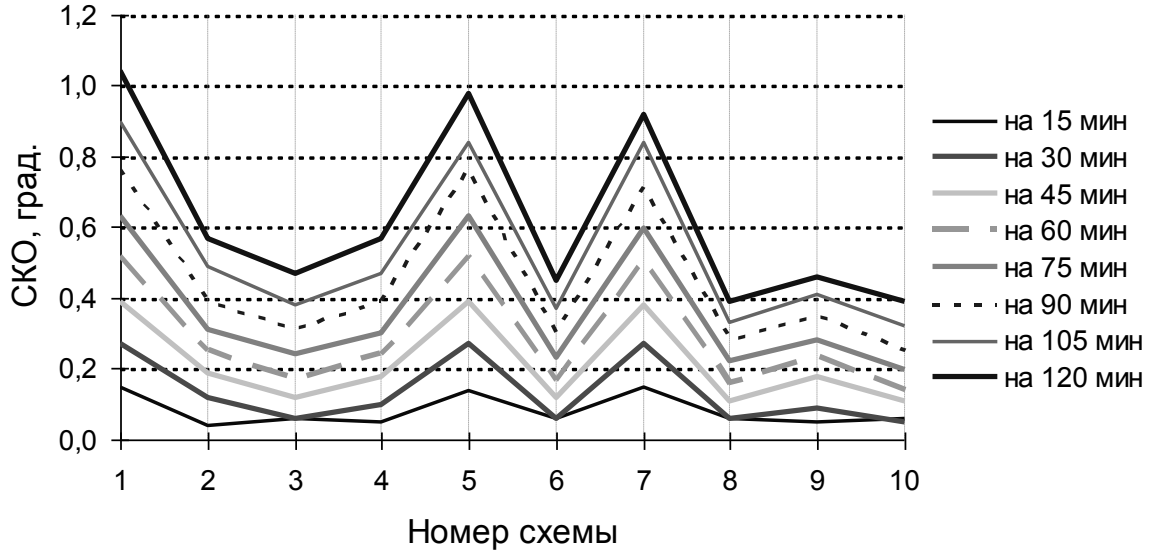


Рис. 3. Зависимость среднеквадратических отклонений прогностических значений приземной температуры воздуха от измеренных в зависимости от заблаговременности прогнозов для сплайн-экстраполяции при использовании данных исходных временных рядов

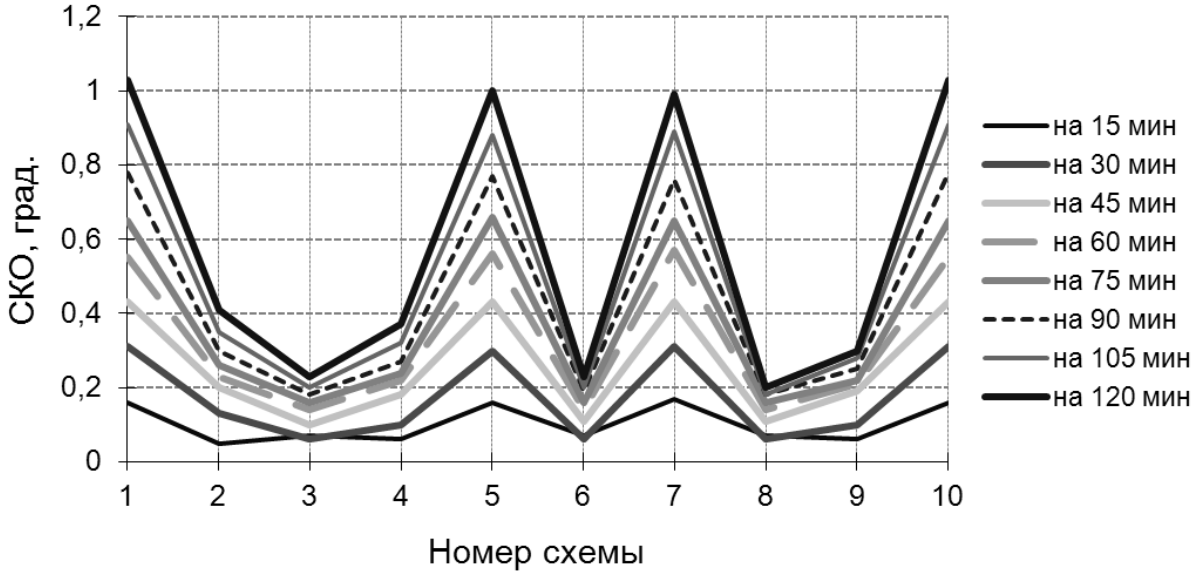


Рис. 4. Зависимость среднеквадратических отклонений прогностических значений приземной температуры воздуха от измеренных в зависимости от заблаговременности прогнозов для сплайн-экстраполяции при исключении тренда и периодических составляющих временных рядов

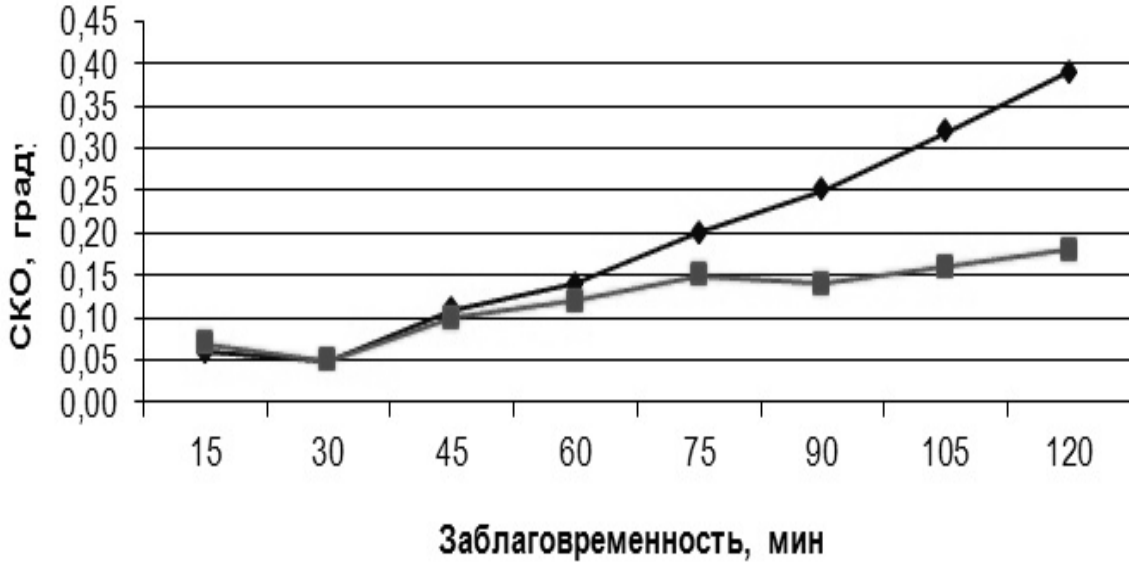


Рис. 5. Ошибки прогноза исходных данных без обработки (верхняя кривая) и после исключения тренда и периодических составляющих временного ряда (нижняя кривая)

В заключение рассмотрим рис. 5, который позволяет сравнить оптимальные схемы текущего прогнозирования при использовании исходных данных измерений (схема № 1 – верхняя кривая) и тех же данных, но после исключения тренда и периодических составляющих (схема № 10 – нижняя кривая) [4]. Хорошо видна роль предварительного исключения аддитивных составляющих во всем фрагменте временного ряда – от его начала до момента проведения прогноза – в повышении точности текущего прогнозирования.

Список используемы источников

1. *Русин И.Н., Тараканов Г.Г.* Сверхкраткосрочные прогнозы погоды. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 1996. – 308 с.

2. Опыт использования аппарата нейронных сетей для анализа и прогноза временного ряда температуры воздуха / Е.С. Алдошкина, А.Д. Кузнецов, А.А. Пугачев, О.С. Сероухова, Т.Е. Симакина, В.В. Чукин // Ученые записки РГГМУ. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2009. – №11. – С. 91–100.

3. *Дьяконов В.П.* Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ. – М.: Наука, 1987. – 246 с.

4. К вопросу о выделении аддитивных составляющих временного ряда приземной температуры воздуха / К.Л. Восканян, А.Д. Кузнецов, О.С. Сероухова, Т.Е. Симакина // Ученые записки РГГМУ. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2013. – № 32. – С. 55–65.

В.Г. Иванов,
доктор физико-математических наук;
А.А. Каменев,
кандидат техн. наук;
Г.В. Поспелов;
С.В. Савин

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА

Сформулированы требования к оптико-электронным средствам космических аппаратов для обнаружения, определения спектроэнергетических параметров и координат источников лазерного излучения инфракрасного диапазона. Рассмотрены существующие технические решения. Предложено техническое решение на базе статического Фурье-спектрометра, и приведены результаты экспериментального моделирования.

Ключевые слова: оптико-электронное средство, лазерное излучение, инфракрасный диапазон, статический Фурье-спектрометр.

ВВЕДЕНИЕ

Предназначенные для размещения на борту космических аппаратов (КА) оптико-электронные средства (ОЭС) обнаружения, определения спектроэнергетических параметров и координат внешних источников лазерного излучения (ЛИ) инфракрасного (ИК) диапазона должны удовлетворять следующим основным требованиям:

– диапазон регистрируемых длин волн ЛИ должен охватывать область спектра электромагнитного излучения от 1 до 6 мкм;

– вид воздействующего ЛИ может быть непрерывным или импульсным;

– время, в течение которого проводится определение параметров непрерывного ЛИ, должно составлять $\Delta t = 20 \div 80$ мс;

– для определения параметров импульсного ЛИ матричный фотоприёмник в составе устройства должен обладать достаточно малым временем фотоотклика на уровне 0,1 мкс;

– требуемая спектральная разрешающая способность устройства должна составлять $\lambda/\Delta\lambda = 10 \div 100$, а погрешность измерения длины волны – 0,01 мкм;

– система охлаждения матричного фотоприёмника ИК диапазона должна обеспечивать его рабочий температурный режим на протяжении интервалов времени, обусловленных режимом функционирования защищаемого КА по целевому назначению;

– плотность мощности ЛИ на входном зрачке информационных ОЭС КА может изменяться, в зависимости от высоты орбиты КА, ТТХ и способов применения специальных комплексов вероятных противников, в широком интервале значений (от 10^{-8} до 10^{-1} Вт/см^2 в ситуации функционального подавления);

– бортовые ОЭС рассматриваемого назначения должны быть компактными, иметь незначительные массогабаритные характеристики, малое энергопотребление и не должны содержать механических сканирующих (подстраиваемых) узлов.

ИЗВЕСТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Проведенный анализ технического облика известных оптико-электронных приборов, устройств и датчиков позволил выделить из них те, которые принципиально могут использо-

ваться для решения отдельных задач, связанных с регистрацией воздействия ЛИ на летательный аппарат. Данные устройства описаны в патентах [1–3]. Однако эти технические решения имеют ряд указанных ниже недостатков, не позволяющих их использовать для защиты КА.

Первое из приведённых выше устройств [1] содержит оптическую систему, состоящую из нескольких объективов, оси которых развёрнуты в пространстве для организации необходимой зоны обзора. В фокальной плоскости каждого объектива расположены входные торцы двух световолокон, причём одно из волокон является опорным и имеет длину, постоянную для каждой пары волокон, а длина второго волокна выбирается (при изготовлении устройства) по определённому правилу для каждой пары волокон. На выходных торцах группы опорных волокон и группы волокон с переменной длиной установлены фотоприёмники. Направление падающего лазерного излучения определяется в блоке обработки сигналов по величине временного интервала между импульсами, поступившими на фотоприёмник, соединенный с группой опорных волокон, и фотоприёмник, соединенный с группой волокон с переменной длиной.

Второе из приведённых устройств [2] содержит приёмный объектив, оптически сопряжённый световодом с фотоприёмником, и блок обработки электронных сигналов. При этом приёмный дисторсионный объектив выполнен из термостойких материалов и снабжён входным оптическим компонентом в виде плоской пластины из сапфира, световод представляет собой многожильный световолоконный кабель, а перед фотоприёмником дополнительно установлен объектив переноса изображения.

Третье техническое решение [3] отвечает требованиям определения спектроэнергетических параметров лазерного излучения и представляет собой статический Фурье-спектрометр (СФС). Он содержит входной коллиматор, оптически связанный с интерферометрическим узлом, включающим светоделитель и, по меньшей мере, два зеркала, установленные с возможностью создания интерференционной картины, локализованной в плоскости зеркал, а также устройство регистрации изображения, оптически связанное с интерферометрическим узлом с помощью проективной системы. Проективная система включает сферическое зеркало и линзовый объектив, центрированный относительно нормали к оптической поверхности зеркала, а зеркало и линзовый объектив выполнены с возможностью прохождения оптического излучения через линзовый объектив от интерферометрического узла к сферическому зеркалу с отражением от него и прохождением через тот же линзовый объектив к устройству регистрации. Устройство регистрации выполнено в виде многоэлементного фотоприёмника.

Общим недостатком этих устройств является отсутствие возможности определения длины волны и спектроэнергетических параметров ЛИ одновременно с определением координат его источника. Это приобретает особую важность в случае малой длительности импульса ЛИ. Кроме того, точность определения направления на источник ЛИ в первом и втором устройствах также зависит от количества пар световолокон и числа жил световолоконного кабеля. Использование световолокна для передачи преобразованного входной оптической системой изображения ЛИ на фотоприёмник ограничивает диапазон длин волн регистрируемого изображения спектральным диапазоном пропускания световолокна. Таким образом, ни одно из известных технических решений в области создания бортовых датчиков регистрации ЛИ не обеспечивает одновременное решение задач обнаружения, определения спектроэнергетических параметров и координат источника ЛИ, воздействующего на КА.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ПРЕДЛАГАЕМОГО ОЭС

Для одновременного решения на борту КА задач обнаружения, определения спектроэнергетических параметров (спектра импульсного ЛИ, длины волны непрерывного ЛИ, плотности мощности или энергии ЛИ на входном зрачке оптической системы) и координат воздействующего на этот КА источника импульсного или непрерывного ЛИ в ближне-среднем ИК диапазоне (1–6 мкм) предлагается разработать специализированное ОЭС на базе СФС, соот-

ветствующее сформулированным выше требованиям. В составе этого ОЭС предлагается использовать ФПУ с матричным фотоприемником типа ФППЗ БШ-22М на основе силицида платины, охлаждаемым до уровня азотных температур с пороговой чувствительностью 10^{-13} Вт/элемент. Структурно-функциональная схема ОЭС для обнаружения, определения спектроэнергетических параметров и координат источника лазерного излучения в ближнесреднем ИК диапазоне представлена на рис. 1.

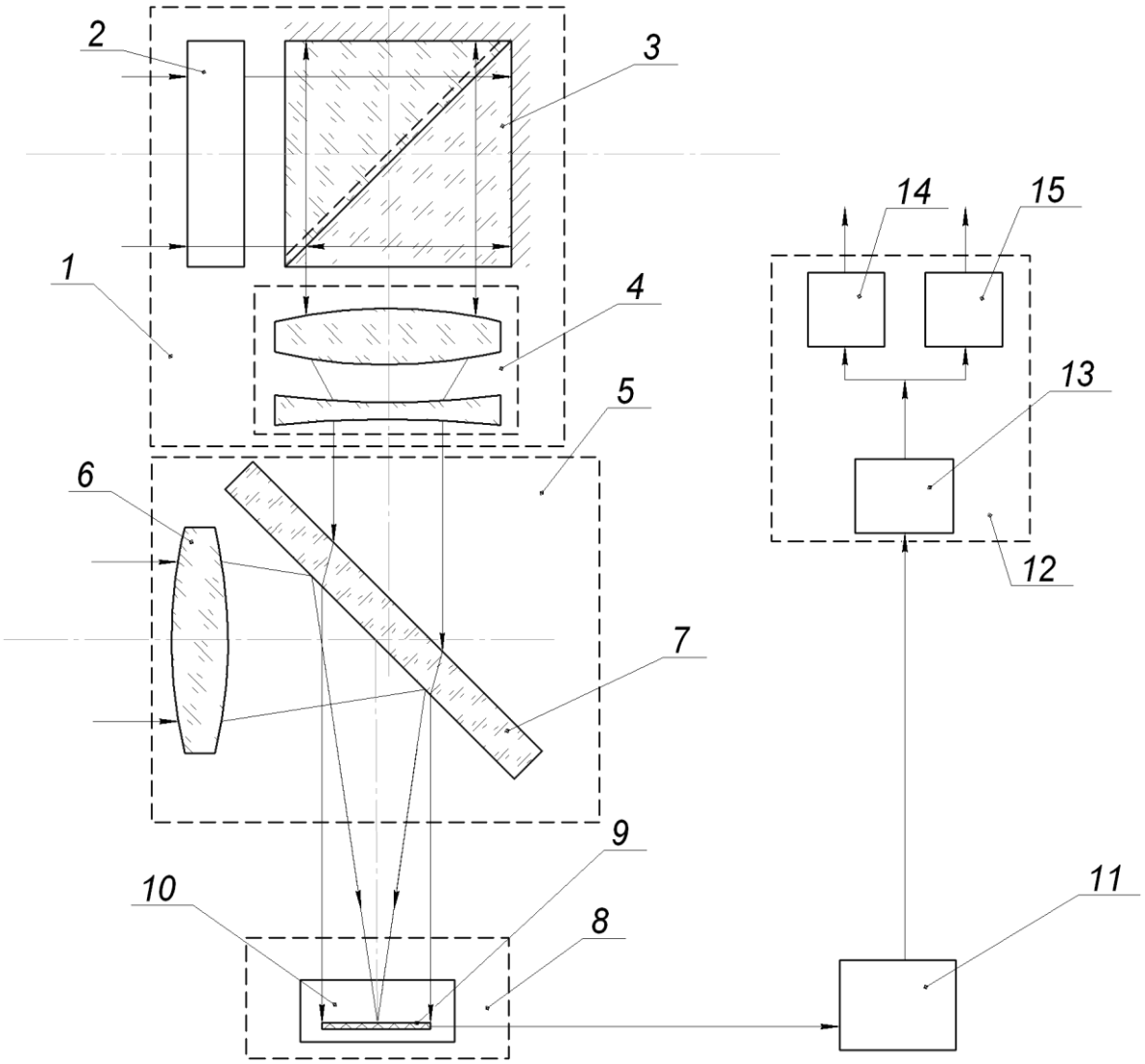


Рис. 1. Структурно-функциональная схема ОЭС для обнаружения, определения спектроэнергетических параметров и координат источника ЛИ в ИК диапазоне:

1 – первый (спектральный) оптический канал; 2 – оптическое устройство (дисторзирующий объектив) с широким углом поля зрения; 3 – интерферометр; 4 – первый (проекционный) объектив; 5 – второй (координатный) оптический канал; 6 – второй объектив (фокусирующий) с широким углом поля зрения; 7 – прозрачная диэлектрическая пластина с френелевским отражением; 8 – охлаждаемое фотоприёмное устройство; 9 – криостат с входным окном, подключённый к внешней системе охлаждения КА; 10 – матричный фотоприёмник; 11 – блок предварительной обработки электрического сигнала; 12 – цифровой специальный вычислитель; 13 – регистрирующий блок; 14 – координатный блок; 15 – спектральный блок

В предлагаемом ОЭС реализована двухканальная оптико-электронная система, в которой в формируемом матричным фотоприёмником видеосигнале одновременно совмещаются изображения интерферограммы и источника ЛИ. Возможность регистрации импульсного или непрерывного ЛИ обеспечивается использованием в качестве регистрирующего устройства одного высокочувствительного матричного фотоприёмника смотрящего типа с временем реакции на включение (выключение) источника ЛИ, составляющим единицы наносекунд, и накоплением сигнала в течение всего времени формирования видеокадра. Использование одного матричного фотоприёмника позволяет добиться снижения массогабаритных характеристик ОЭС и обеспечить однозначную привязку определяемых параметров лазерного излучения к координатам его источника.

Предлагаемое ОЭС работает следующим образом. Поток ЛИ от удалённого источника одновременно падает на входные зрачки первого и второго широкопольных оптических каналов. Поток ЛИ, падающий на входной зрачок первого оптического канала, проходит через оптическое устройство 2 с дисторзирующим объективом [4, 5], которое преобразует пришедший на его входную апертуру параллельный пучок ЛИ в слабосходящийся выходной пучок (независимо от направления прихода ЛИ), направляемый в интерферометр 3. Сформированная интерферограмма переносится проекционным объективом 4 через прозрачную диэлектрическую пластину с френелевским отражением 7 на фоточувствительную поверхность матричного фотоприёмника (МФП) 10, предварительно охлаждённого в криостате 9 для обеспечения его высокой чувствительности в рабочей спектральной области ИК диапазона. Описание элементов, позволяющих осуществить функцию оптического устройства 2, приведено в ряде работ [6, 7].

Поток ЛИ, падающий на входной зрачок второго оптического канала 5, попадает в фокусирующий объектив 6, который совместно с прозрачной диэлектрической пластиной с френелевским отражением 7 формирует изображение источника ЛИ на фоточувствительной поверхности МФП 10. В результате прохождения ЛИ в первом и втором оптических каналах на фоточувствительной поверхности МФП формируется результирующее изображение, представляющее суперпозицию изображений интерферограммы и источника ЛИ.

В МФП предлагаемого ОЭС в процессе формирования одного видеокадра регистрируется результирующее изображение, создаваемое путём суперпозиции изображений, формируемых при прохождении ЛИ одновременно в первом и втором оптических каналах. Результирующее изображение содержит информацию о координатах источника ЛИ, плотности мощности (энергии) ЛИ на входном зрачке, длине волны и спектре ЛИ.

После считывания и усиления выходной результирующий видеосигнал МФП поступает в аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Использование АЦП позволяет преобразовать аналоговое значение амплитуды напряжения видеосигнала в цифровые значения «квантов» АЦП. Поскольку в современных МФП реализованы геометрическая стабильность положения каждого фоточувствительного элемента (ФЧЭ) на поверхности фотоприёмника и пошаговый (цифровой) переход от одного ФЧЭ к другому при их опросе, каждому ФЧЭ присваивается номер, который сохраняется в процессе работы МФП [8] и позволяет соотнести в видеосигнале интервал времени опроса любого ФЧЭ с его номером. Таким образом, видеосигнал становится полностью цифровым, устойчивым во времени и легко обрабатываемым. Следует отметить, что МФП содержат неработающие ФЧЭ: «закороченные» (дающих яркие точки на изображении) и «оборванные» (дающих тёмные точки). Обычно их число составляет 0,01–1% от полного количества ФЧЭ. Возможно также появление тёмных линий, обусловленное обрывами шин и утечками МОП-транзисторов кремниевого мультиплексора (ПЗС или КМОП). Для исключения влияния неработающих (дефектных) ФЧЭ на качество формируемых изображений в ОЭС может быть применён стандартный приём – замена сигнала дефектного ФЧЭ средним сигналом от соседних ФЧЭ по горизонтали. Такая замена осуществляется в электронном блоке цифровой обработки видеосигнала в каждом кадре изображения в соответствии с таблицей замены дефектных элементов, которая может быть записана в

блоке предварительной обработки сигнала на этапе наладки работы для каждого экземпляра МФП. Опытным путём установлено, что в ходе эксплуатации твёрдотельных МФП с «цифровым растром» при неизменных режимах работы фотоприёмника и системы охлаждения начальные координаты дефектных ФЧЭ не изменяются. Помимо исключения дефектных элементов из цифрового видеокадра в ходе обработки выравнивается разброс «темновых» сигналов и чувствительностей отдельных ФЧЭ, в результате чего снижается уровень «геометрического шума» МФП.

Полученный в результате проведения указанных операций цифровой видеокадр поступает на вход регистрирующего блока цифрового специального вычислителя (ЦСВ). В регистрирующем блоке в результате обработки цифрового видеокадра вырабатывается пороговое значение сигнала для последующего использования в адаптивных алгоритмах пороговой фильтрации. Пороговое значение устанавливается равным максимальному значению сигнала в элементах цифрового видеокадра, соответствующих области интерференционных полос. Из регистрирующего блока цифровой видеокадр и выработанное пороговое значение сигнала одновременно подаются в координатный и спектральный блоки.

В координатном блоке по всем элементам цифрового видеокадра проводится пороговая фильтрация, в результате которой формируется цифровое изображение сигнала высокого уровня в виде сплошного пятна, после чего проводится вычисление координат центра энергетической яркости (ЦЭЯ) изображения такого пятна внутри выбранного рабочего массива ФЧЭ по формулам [9]: $C_x=(\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} I_{n,m}\cdot n)/(\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} I_{n,m})$, $C_y=(\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} I_{n,m}\cdot m)/(\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} I_{n,m})$, где C_x, C_y – координаты ЦЭЯ изображения пятна по осям x и y соответственно; $I_{n,m}$ – сигналы ФЧЭ, соответствующие распределению яркости в выбранном рабочем массиве ФЧЭ; N, M – число столбцов и строк матрицы яркостей выбранного рабочего массива ФЧЭ, содержащего обрабатываемое изображение пятна; n, m – порядковые индексы отсчётов сигналов по столбцам и строкам матрицы яркостей выбранного рабочего массива ФЧЭ.

Используя полученные расчётные значения координат ЦЭЯ пятна и данные об ориентации оптической оси ОЭС в пространстве, в координатном блоке определяются угловые координаты источника ЛИ относительно оптической оси ОЭС, которые поступают на выход координатного блока. Путём сравнения максимального значения сигнала в цифровом видеокадре с результатами предварительно проведённой калибровки в координатном блоке определяется средняя за время формирования одного видеокадра плотность мощности ЛИ на входном зрачке второго оптического канала. Полученное значение средней плотности мощности передаётся на выход координатного блока.

В спектральном блоке ЦСВ по всем элементам цифрового видеокадра проводится замена значений сигналов элементов цифрового видеокадра, превышающих пороговый уровень сигнала, на среднее по кадру значение сигнала. В результате такой замены формируется цифровое изображение сигнала низкого уровня в виде интерференционных полос. Это позволит в последующем при проведении преобразования Фурье [13] снизить уровни паразитных спектральных компонент в сформированном выходном сигнале спектрального блока, что исключит неоднозначность при определении длины волны или спектральной области ЛИ. Затем проводится усреднение по столбцам значений сигналов элементов цифрового видеокадра, и на основе сформированной таким образом последовательности усреднённых значений сигналов вычисляются коэффициенты разложения в ряд Фурье, и проводится сравнение полученного в результате проведённого преобразования набора коэффициентов ряда Фурье с набором, подготовленным при проведении предварительной спектральной калибровки ОЭС. Полученные в результате сравнения данные о спектральном составе ЛИ поступают на выход спектрального блока.

Одновременное вычисление спектроэнергетических параметров ЛИ в координатном и спектральном блоках позволяет осуществить их однозначную привязку к координатам ис-

точника ЛИ и времени его регистрации (с точностью до длительности формирования видеокадра).

Для экспериментального подтверждения работоспособности предлагаемого ОЭС был разработан лабораторный макет спектрального канала, так как возможность определения координат изображения источника ЛИ с использованием камеры ТВС-300Сп в составе макета координатного канала ОЭС была подтверждена в ходе проведённых ранее экспериментов [10–12]. Структурно-функциональная схема спектрального канала ОЭС для регистрации воздействия ЛИ на стенде ЛСФП-ИК-1, созданном на базе ВКА имени А.Ф. Можайского, показана на рис. 2. Ниже приведены результаты выполненного на этом стенде цикла экспериментальных исследований.

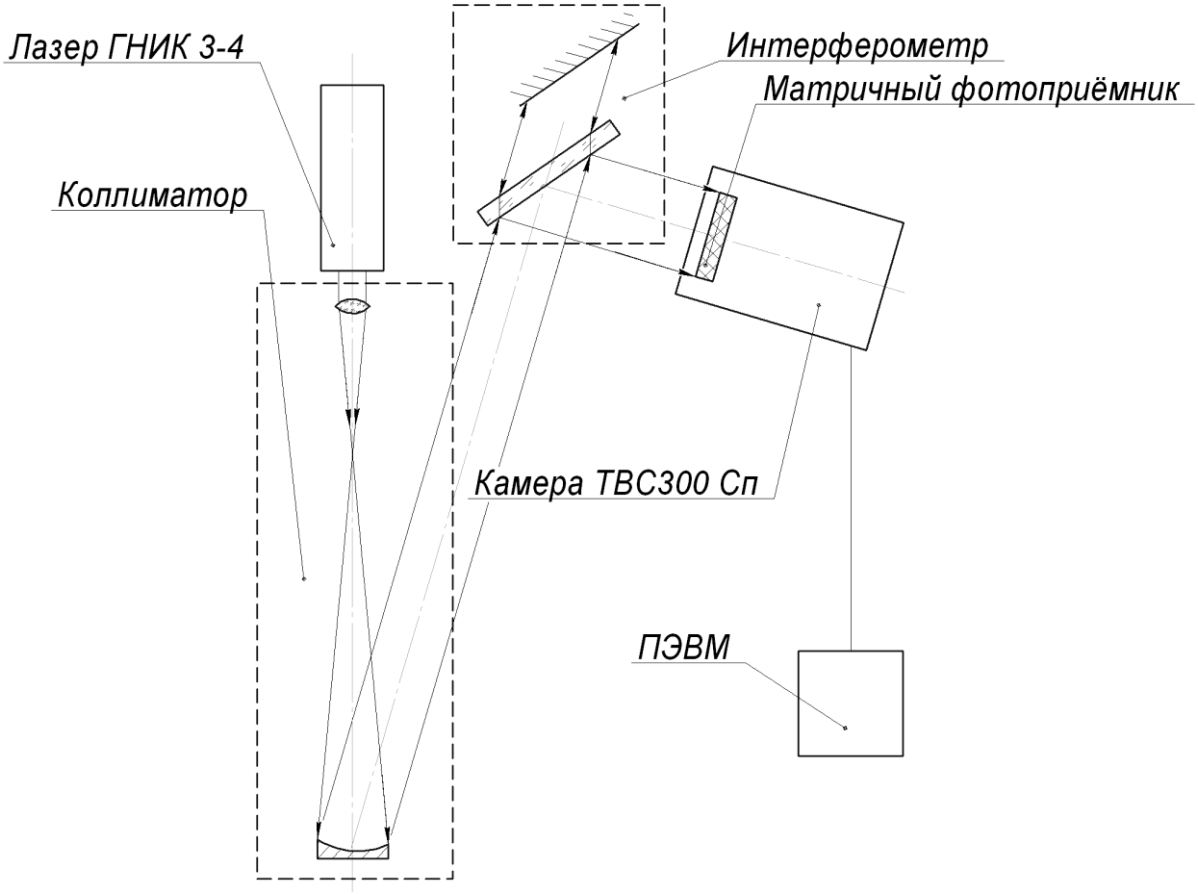
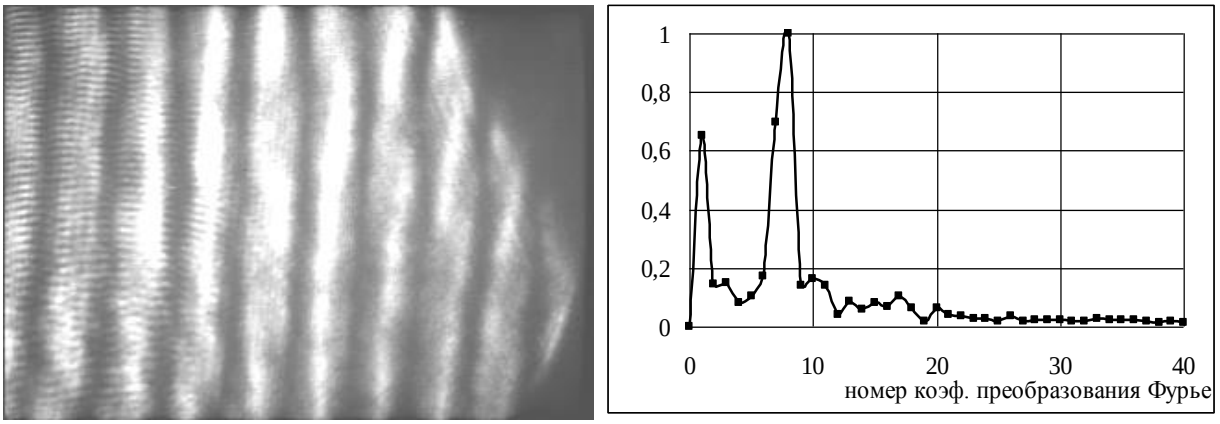


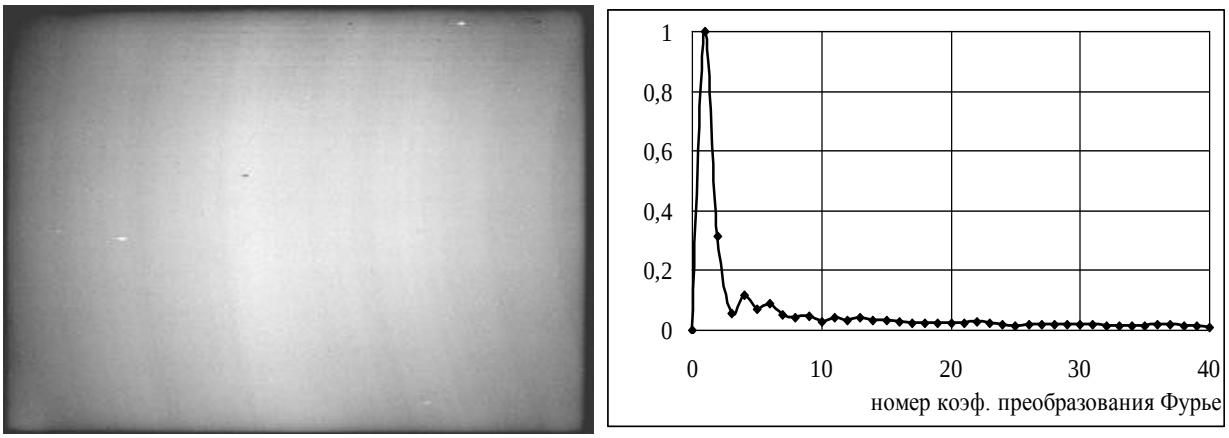
Рис. 2. Структурно-функциональная схема макета спектрального канала ОЭС в составе стенда ЛСФП-ИК-1, созданного на базе ВКА имени А.Ф. Можайского

На рис. 3 представлены видеокадр, содержащий зарегистрированную МФП камеры ТВС-300Сп интерферограмму (рис. 3,а) при воздействии на макет спектрального канала непрерывного ЛИ с длиной волны 3,39 мкм, графический результат преобразования Фурье (рис. 3,б) от упорядоченной совокупности усреднённых по всем столбцам значений сигналов элементов этого видеокадра, а также фоновый видеокадр (рис. 3,в) и графический результат преобразования Фурье (рис. 3,г) фонового видеокадра. Правый пик на рис. 3,б соответствует периоду системы интерференционных полос, сформированных в результате прохождения ЛИ в первом (спектральном) оптическом канале ОЭС. Неинформативный левый пик (рис. 3,б) обусловлен низкочастотной составляющей пространственного спектра входной апертуры камеры ТВС-300Сп, которая возникает при наличии в изображении сцены значительной фоновой освещенности. Это подтверждается его сохранением при обработке по описанному выше алгоритму фонового видеокадра (рис. 3,в).

Полученные значения коэффициентов преобразования Фурье соответствуют пространственным частотам интерферограммы, которые обратно пропорциональны длине волне ЛИ. Это позволяет отградуировать шкалу оси абсцисс (рис. 3,б) в микрометрах. При этом шкала ординат соответствует относительной спектральной плотности энергетической облученности входного зрачка камеры. Использованная на графиках оцифровка шкалы оси ординат соответствует нормированным значениям электронного цифрового сигнала в квантах АЦП.



а) б)



в) г)

Рис. 3. Результаты, полученные в ходе экспериментальных исследований по регистрации воздействия ЛИ на макет спектрального канала ОЭС в составе стенда ЛСФП-ИК-1, созданного на базе ВКА имени А.Ф. Можайского

Разработанная структурно-функциональная схема ОЭС для ближне-среднего ИК диапазона (1–6 мкм) может использоваться для дальнего ИК диапазона (6–12 мкм) при замене охлаждаемого МФП (например, на фотоприёмник на основе соединения «кадмий-ртуть-теллур») и материалов оптических элементов ОЭС.

Список используемых источников

1. Патент EP 1167991 A2. Method and apparatus for direction recognition of pulsed laser beams using the time interval principle, классы G01S 3/781 и G01S 7/48 [приоритет от 01.07.2000]. – Опубл. 29.06.2001.

2. Патент RU 2334243 C1. Устройство обнаружения лазерного облучения, класс G01S 3/783 [приоритет от 08.11.2006]. – Опубл. 20.09.2008.

3. Патент RU 2436038 C1. Статический Фурье-спектрометр, класс G01B 9/00 [приоритет от 02.07.2010]. – Опубл. 10.12.2011.

4. *Волосов Д.С.* Фотографическая оптика: Теория, основы проектирования, оптические характеристики. – М.: Искусство, 1978. – 543 с.

5. *Тарабукин. В.В.* Современные сверхширокоугольные дисторзирующие фотографические объективы // Разработка и испытания оптических систем: труды ГОИ им. С.И.Вавилова / под ред. Д.С. Волосова. – 1981. – Т. 49, вып. 183. – С.44–51.

6. *Елизаров А.В., Куртов А.В., Соломатин В.А., Якушенков Ю.Г.* Обзорно-панорамные оптико-электронные системы // Изв. вузов. Приборостроение. – 2002. – Т. 45, №2. – С. 37–45.

7. *Нгуен Куанг Хиеп, Якушенкова Т.И.* Принципы построения составной панорамной оптической системы на базе оптических панорамных блоков с внеосевыми поверхностями // Труды Международной конференции «Прикладная оптика – 2008».– СПб., 2008. – Т. 1. – С. 156–160.

8. *Арутюнов В.А., Богатыренко Н.Г., Иванов В.Г., Прокофьев А.Е.* Эффективность передачи мелкоструктурных и точечных изображений матричными инфракрасными ПЗС с барьерами Шоттки диапазона 1,2–5,5 мкм // Изв. вузов. Приборостроение. – 2004. – Т. 47, №9. – С. 38–45.

9. *Брондз Д.С., Харитонова Е.Н.* Коррекция геометрического шума МФПУ с помощью аппроксимации методом наименьших квадратов передаточных характеристик матрицы полиномом Т-го порядка // Радиоэлектроника. – 2008. – № 11. – URL: http:// jre.cplire.ru/jre/nov08/index.html (дата обращения: 15.11.2014).

10. *Каменев А.А., Найшулер Д.В., Савин С.В.* Малоэнергетические дифракционные механизмы взаимодействия лазерного излучения со структурой инфракрасного фотоприёмника на базе ПЗС // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Общетехническая. – М., 2011. – Вып. 5. – С. 120–124.

11. *Арутюнов В.А., Иванов В.Г., Кассиров С.А.* Тепловизионная камера ЦНИИ «Электрон» на основе матричных ИК ПЗС с барьерами Шоттки и её возможности для регистрации быстродвижущихся малоразмерных объектов // Оптический журнал. – 1997. – Т. 64, №2. – С. 38–42.

12. *Арутюнов В.А., Богатыренко Н.Г., Иванов В.Г., Прокофьев А.Е.* Испытания экспериментальной матричной тепловизионной камеры диапазона 1,2–5,5 мкм на базе кремниевых ИК ПЗС с барьерами Шоттки в условиях мониторинга городских сюжетов // Оптический журнал. – 1999. – Т. 66, №12. – С. 60–63.

13. Физический энциклопедический словарь / гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1984. – 944 с.

В.П. Маслов,
кандидат воен. наук, доцент;
Е.Е. Исаков;
С.Ю. Пономарев

ПРОБЛЕМНЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УПРАВЛЕНИИ МОБИЛЬНЫМИ ВОИНСКИМИ ЧАСТЯМИ И ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ

Изложен краткий анализ возможности использования ГИС-технологий для обоснования решения на маневр мобильными подразделениями. Рассматриваются особенности влияния информации о местности на оперативность и достоверность принятия решения, уточняются требования к ее содержанию, обосновывается необходимость совершенствования методик оценивания и учета тактических свойств местности, реализуемых в геоинформационных системах (ГИС). Приведены отдельные аспекты оценивания тактических свойств местности с использованием сервисных модулей расчетных и военно-прикладных задач ГИС «Оператор».

Ключевые слова: маневр мобильных подразделений, оперативность принятия решения на маневр, тактические свойства местности, использование ГИС при обосновании решения, ГИС «Оператор».

В Вооружённых Силах Российской Федерации для решения многих боевых задач применяются мобильные[1] воинские части и подразделения. Используя различные средства передвижения, они должны перемещаться как на этапе подготовки, так и в ходе выполнения боевых задач, сохраняя при этом свою боеспособность.

Следует отметить, что способность воинских частей и подразделений выполнять поставленные им боевые задачи (боеспособность) определяется их боевыми возможностями. Для мобильных же воинских частей и подразделений к числу особо значимых боевых возможностей следует отнести их манёвренные возможности.

В современном бою степень реализации манёвренных возможностей в сложных условиях обстановки может стать определяющей для успешного выполнения боевых задач. В этой связи особое внимание в работе командира по организации выполнения поставленной боевой задачи должно быть уделено принятию решения на маневр воинской части (подразделения) и его планированию. Качество принимаемого решения непосредственно зависит от наличия достоверной и достаточно полной информации о тактических свойствах местности (ТСМ), а также от применяемых методик их оценивания и учёта. В свою очередь, большой объём данных, необходимых для выработки решения, и количество операций, проводимых с ними при планировании манёвра, уже не позволяют оперативно выполнять данную работу в «ручном» режиме. Лишь применение электронных вычислительных средств может обеспечить обоснование и планирование маневра воинской части (подразделения) в наиболее короткие сроки и с требуемым качеством, поскольку оперативность и обоснованность принятия решения на маневр особо значимы для успешного его проведения, особенно в ходе боя.

В настоящее время достаточно широкое применение для обработки пространственных, т.е. привязанных к местности, данных для планирования боевых действий войск и управления ими получили геоинформационные системы (ГИС). Так, принятая в 2013 году на снабжение в Вооруженных Силах Российской Федерации новая ГИС «Оператор» имеет встроен-

[1] Реализующих способность быстрого передвижения до начала и в ходе боевых действий, развертывания в боевой (предбоевой) порядок и свертывания в походный порядок. – URL: //www.dic.academic.ru (дата обращения: 20.05.2014).

ные средства коллективной работы в сети с картами местности и оперативной обстановкой для планирования и управления войсками и оружием [1, 2].

ГИС содержит средства редактирования оперативной обстановки, разнообразные классификаторы и библиотеки условных знаков оперативной обстановки, принятые в Российской Федерации и НАТО. Она предназначена для накопления, хранения, автоматизированной обработки и отображения данных, результатов расчетов и прогнозов, имеющих геопространственную привязку, создания (нанесения) и редактирования (обновления) условных знаков оперативной обстановки [3, 4].

ГИС «Оператор» разработана на основе ГИС «Карта 2011», поэтому она включает и ее основные инструментальные средства, необходимые и достаточные для автоматизации решения различного рода задач, связанных с использованием электронных карт местности [5]. В числе основных направлений использования ГИС «Оператор»: анализ и прогнозирование оперативной обстановки; информационное обеспечение принятия оперативных решений; обработка, визуальный анализ тематических справочных данных, формирование наглядных графических документов с использованием цифровой картографической основы, автоматизированная обработка и отображение данных, результатов расчетов и прогнозов. Наряду с основной прикладной задачей ГИС «Оператор» – редактором оперативной обстановки, в состав его программного обеспечения входят реализованные в виде динамических библиотек сервисные модули расчетных и военно-прикладных задач [3].

Обобщив и проанализировав приведенные в описаниях и руководствах [3–7] сведения об использовании программных комплексов ГИС «Оператор» и ГИС «Карта 2011», отметим те из задач, реализация которых в большей мере может способствовать повышению оперативности и качества принятия решения на маневр (марш) воинской части (подразделения) и его планирования. Это некоторые из базовых прикладных задач: расчеты по карте (вычисления и построения по матрице высот, работа с сетью); граф дорог (фактически вкладка вспомогательной панели «Работа с сетью»); дополнительные модули (формирование трехмерной карты местности, обработка матриц высот).

В числе приведенных в презентации ЗАО КБ «Панорама» [2] возможностей ГИС «Оператор» отмечено, что сформированная по векторным картам 3D-модель местности «позволяет оценить ее свойства (рельеф, условия проходимости, маскировочные свойства и другие)». Однако необходимо уточнить, что рельеф местности – это лишь один из ее основных топографических элементов. В сочетании с влиянием других элементов (населенных пунктов, дорожной сети, почвогрунтов, растительного покрова, гидрографии) и метеоусловий на выполняемую задачу и оцениваются тактические свойства местности. Несомненно, на трехмерной карте более наглядно отображаются и лучше визуально воспринимаются детали и формы рельефа, лесной растительный покров и другие топографические элементы местности. При наличии определенного опыта возможно лишь качественно оценить их влияние на боевую задачу и учесть результаты оценивания при выборе способа выполнения боевой задачи, то есть при обосновании замысла на бой.

Могут быть получены и некоторые количественные оценки, например условий наблюдения, путем построения зон видимости. Кроме того, результаты расчетов длин, площадей, объемов по карте, а также построение профилей, вычисление границ зон затопления и отображение их на карте могут быть использованы в качестве исходных данных для оценивания условий проходимости местности и ее оборудования в инженерном отношении.

Для обоснования и планирования маневра воинской части (подразделения) больший интерес представляет встроенная задача «Расчеты по карте» (вкладка вспомогательной панели «Работа с сетью»). Она может использоваться для построения (выбора кратчайших) маршрутов движения, но только по существующей и отображенной на карте дорожной сети.

Необходимо отметить, что для мобильного подразделения, осуществляющего перемещение на средствах передвижения повышенной проходимости, подобный способ выбора маршрута совершения манёвра не обеспечивает эффективного применения подразделения, так как

не в полной мере используются потенциальные возможности техники для движения вне дорог.

В ЗАО Конструкторское бюро (КБ) "Панорама" разработана и новая версия "Комплекса инженерных задач", входящего в состав ГИС "Оператор". В комплекс включен новый режим "Проходимость по рельефу", предназначенный для оценки рельефа местности и построения зон скорости передвижения личного состава и техники [8].

Однако новый режим может быть использован лишь для предварительной оценки проходимости местности транспортными средствами, так как при определении возможности и условий движения не учтены характеристики почвогрунтов, растительного покрова и гидрографии. Кроме того, способ построения зон скорости передвижения личного состава и техники учитывает лишь одностороннее движение вверх по склону, в то время как возможность и скорость движения в других направлениях (вниз и вдоль склона) будут существенно различными. Это неизбежно приведет к погрешностям в оценках.

Невозможно, к сожалению, непосредственно использовать результаты оценок и при работе со встроенной задачей «Расчеты по карте» (точнее, вкладка вспомогательной панели «Работа с сетью»). Она по-прежнему применима для построения (выбора кратчайших) маршрутов движения по существующей и отображенной на карте дорожной сети. Так что построение маршрутной сети, включающей участки движения вне дорог, для решения сетевой задачи оператор будет выполнять в ручном режиме, опираясь на приближенные оценки проходимости местности. В этой связи не представляется возможным оперативно и достаточно точно произвести выбор рационального маршрута движения подразделения.

Рассмотрим два реализующих наиболее характерные подходы способа оценки проходимости местности вне дорог и прокладывания маршрута передвижения транспортного средства на пересеченной местности с использованием электронных карт [9, 10], которые, по заявлению авторов, могут быть реализованы в автоматизированной системе управления войсками (АСУВ).

Один из способов основан на анализе по геоморфологической карте местности участков генетически однородных поверхностей с последующим разбиением выделенных участков на классы, близкие по морфометрическим характеристикам и характеру грунтов [9]. После калибровки выделенных классов по скорости перемещения движущихся объектов (транспортных средств и пеших групп) области с равными скоростями движения для каждого типа движущихся объектов объединяются и формируются итоговые карты проходимости для каждого вида движущихся объектов.

Для практического использования способа в АСУВ необходимо создание подобных «итоговых карт проходимости» для предполагаемых районов действий войск, что вообще возможно лишь при наличии исходных оцифрованных геоморфологических карт (или карт почв и грунтов) предполагаемых районов боевых действий войск. Кроме того, оценивание проходимости местности производится без учета характеристик растительного покрова, объектов гидрографии, а также текущих метеорологических условий, что существенно снижает точность полученных оценок. Немаловажно учесть и то, что этот способ оценки проходимости местности вне дорог даже не предусматривает решения оптимизационной задачи по выбору маршрутов движения объектов.

Больший интерес представляет другой способ прокладывания маршрута передвижения на пересеченной местности (патент RU № 2439496, МПК G01C 21/34 от 15.07.2010 г.) [10]. Рассматриваемый способ позволяет прокладывать маршрут передвижения на пересеченной местности с учетом тактико-технических данных (ТТД) транспортного средства и минимизации расхода горюче-смазочных материалов, с использованием цифровых векторных карт.

После загрузки электронной векторной карты района и определения точек старта и финиша транспортного средства данный способ предусматривает выполнение операций, к которым относятся:

− формирование зон проходимости путем исключения из рассмотрения территорий, непригодных и не оцениваемых для передвижения применяемого средства перемещения (ограничения административного и физического характера), с целью сокращения рабочей области и размерности графа;

− аппроксимация элементарными участками (ЭУ) сформированных зон проходимости, с целью упрощения логики построения графа;

− формирование графа на множестве ЭУ;

− оценка возможных путей движения на ЭУ (ребрах графа) с учетом характеристик ОТЭМ и ТТД средства перемещения;

− построение маршрута следования средства перемещения и отображение его в виде линии на электронной векторной карте местности.

В качестве преимуществ данного метода отмечаются снижение времени расчета и прокладывания маршрута за счет исключения непригодных и неоцениваемых территорий, а также возможность визуализации результатов работы.

Однако рассматриваемый способ прокладывания маршрута также имеет ряд недостатков.

Информативность цифровых векторных карт, используемых в процессе применения аналогична информативности карт, применяемых в ГИС и, как правило, недопустима низка для достоверного определения проходимости местности. В предложенном способе прокладывания маршрута не предусмотрена возможность дополнения (насыщения) карты необходимой информацией о значениях характеристик ОТЭМ в сформированных зонах проходимости.

В рассматриваемом способе единственным требованием, определяющим размер сетки при формировании ЭУ, является монотонность рельефа в пределах ячейки. Именно по шагу матрицы высот или по минимальному расстоянию между изолиниями и определяется величина стороны ячейки сетки. Однако для повышения точности оценок, помимо характеристик форм и элементов рельефа, при выборе размера сетки целесообразно также учитывать показатели иных динамически изменяющихся характеристик ОТЭМ и ТТД используемых средств перемещения.

Определение проходимости местности и выбор маршрута передвижения в ряде случаев необходимо произвести для определенного количества транспортных средств, движущихся в колонне. Поэтому существенным недостатком данного способа является отсутствие учета возможности движения N-го количества транспортных средств по одному следу.

Значительное влияние на проходимость местности оказывают тип и состояние грунтов. В рассматриваемом способе лишь на качественном уровне производится учет плотности грунта, без вычисления его несущей способности. Также недостаточно полно учитываются характеристики растительного покрова (в частности, наличие и ориентация просек) и объектов гидрографии. При вычислении значений частных коэффициентов всех рассматриваемых факторов и аддитивного обобщенного коэффициента проходимости для участка пути не учитывается взаимное влияние ряда ОТЭМ на проходимость местности, что может привести к значительным погрешностям в оценках.

После загрузки электронной векторной карты при использовании рассматриваемого способа задаются лишь точки старта и финиша, между которыми и производится прокладывание маршрута передвижения транспортного средства. Однако при решении отдельных задач маршрут перемещения необходимо проложить через определенные промежуточные точки, что в данном способе не предусмотрено. Решение же этой задачи последовательно не всегда является рациональным и неизбежно приводит к увеличению времени прокладывания маршрута.

Определение проходимости местности производится с помощью оценки следующих характеристик ОТЭМ: угла ската в направлении предполагаемого движения, плотности грунта, густоты леса (кустарников), мощности растительного покрова, глубины водной преграды с учетом плотности дна, интенсивности гололедных явлений, глубины снежного покрова, толщины льда.

Особо следует отметить, что в описании способа не приведен порядок подготовки и использования исходных данных о характеристиках ОТЭМ. В этой связи вызывает опасения существенная сложность его практической реализации в плане получения необходимых для сопоставления и сравнения (вычисления не проводятся) текущих и граничных значений семантических характеристик ОТЭМ, поскольку на электронных картах они привязаны не к координатам точек, а к картографическим объектам, представленным различными геометрическими примитивами (точка, линия, площадь).

Проведенный анализ может служить свидетельством тому, что при проведении оперативно-тактических расчетов далеко не всегда найдется подходящая для этого методика, позволяющая получить необходимые количественные оценки проходимости местности (в том числе вне дорог). Более того, в зависимости от предназначения мобильных подразделений и особенностей выполнения ими боевых задач, необходимо иметь возможность использования различных методик оценивания тактических свойств местности, а также методик учёта полученных оценок при планировании манёвра.

Реализация методик в виде прикладных задач ГИС «Оператор» («Карта 2011») довольно сложна и трудоёмка, так как работа с функциями ГИС-ядра предъявляет высокие требования к профессиональному уровню разработчика ГИС-приложений. В целях облегчения работы по созданию ГИС-приложений ЗАО КБ «Панорама» разработан инструментарий, наборы объектов и компонент GIS ToolKit Active [11], GIS ToolKit [12], для использования в различных средах программирования.

Применительно к интересующей нас задаче, выбор оптимального маршрута при планировании маневра мобильным подразделением, возможна разработка необходимого ГИС-приложения на основе компонента сетевой задачи axMapNet [11], использование которой не зависит от языка написания программы, или TMapNet [12], позволяющего разрабатывать приложения в определенной среде (Delphi, C++ Builder, Borland Developer Studio, Embarcadero RAD Studio).

Для решения сетевой задачи производиться создание геометрической сети ребер и узлов с одновременным построением логической сети. Задача функционирует при наличии выделенных на карте линейных объектов (например – дорожной сети). Выделенные точечные объекты при построении будут добавлены в сеть как объекты-узлы сети.

Для создания сети используется служебный классификатор service.rsc, который содержит объекты: узел сети, ребро сети, а также семантику, необходимую для дальнейшей работы с сетью. В семантику входят следующие характеристики: номер сети; номер объекта-ребра (для узла); номер объекта-узла первой точки (для ребра); номер объекта-узла последней точки (для ребра); ссылка на объект листа; скорость (для ребра); ранг ребра.

В результате построения создается пользовательская карта, содержащая следующие типы объектов: узел сети и ребро сети. Все объекты созданной карты имеют обязательную семантику «Номер сети». Для узлов обязательной характеристикой является ссылка на объект-ребро, которому принадлежит узел, для ребер обязательные семантики – номер первого и последнего узлов для данного ребра и ссылка на объект карты [11].

Однако в том случае, если на карте уже имеются необходимые для создания сети линейные объекты (участки маршрутной сети, которые можно выделить), не нужно создавать новое ГИС-приложение, достаточно использовать одну из базовых прикладных задач ГИС «Оператор» – расчеты по карте (работа с сетью).

Вспомним, что для полной реализации маневренных возможностей мобильных подразделений необходимо иметь возможность выбора маршрута для движения на местности, в том числе и вне дорог. Однако на карте района выполнения мобильными подразделениями поставленной задачи попросту нет исходного множества возможных направлений движения транспортных средств вне дорог – линейных объектов для построения сети. Для их отображения на карте требуются данные, которые могут быть получены только в результате оценивания проходимости местности при использовании приемлемой методики.

Итак, результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что возможно и необходимо использовать ГИС для получения количественных оценок тактических свойств местности, в частности ее проходимости. Наряду с этим широкое внедрение ГИС в систему управления на оперативно-тактическом уровне возможно лишь при условии решения в первую очередь следующих научных задач.

1. Решению задачи выбора оптимального маршрута предшествует предварительная подготовка пользовательской карты, на которой и создается сеть рёбер и узлов. Каждый из совокупности ее линейных объектов (дуги сети) должен отражать возможность и характеристики движения транспортных средств в определенном направлении (по существующей дорожной сети и вне дорог) по одному из элементарных участков местности. Их значения (скорости и времени движения, расхода горючего) вычисляются при реализации соответствующей методики оценивания проходимости местности.

Количество подлежащих оценке направлений возможного движения на каждом из элементарных участков местности, а также протяжённость служебного линейного объекта (ребра) напрямую зависят от требуемой точности при выборе маршрута передвижения. Исходя из этого возможно применение решётки различной связности, устанавливающей количество оцениваемых направлений. Длина же каждого отрезка (ребра) будет определяться разрешением решётки, т.е. размерами элементарной площадки (участка местности).

При работе со встроенной прикладной задачей «Расчеты по карте» (с компонентом сетевой задачи) устанавливаются метод построения (длина или время, в последнем случае ребра должны иметь семантику «Скорость») и фильтр по семантикам ребер [11], т.е. невозможно оптимизировать маршрут по двум и более показателям. По этой причине целесообразно использовать обобщенный показатель движения транспортных средств с учетом их ТТД, например, коэффициент движения ($К_д^т$) как функцию скорости (или времени) движения и расхода горючего. Значения данного коэффициента должны принадлежать определённому диапазону и присваиваются каждому линейному объекту (ребру) в качестве семантической характеристики.

Применяемый компонент сетевой задачи позволяет учесть и возможность движения в прямом и обратном направлениях, что особо актуально при движении на склонах. Поэтому при построении сети исключаются те линейные объекты (рёбра), где движение возможно лишь в обратном направлении.

В итоге на загруженной в ГИС «Оператор» пользовательской карте создается сеть для работы со встроенной прикладной задачей «Расчеты по карте». Результатом ее решения будет выбор конкретного маршрута для совершения манёвра, представленного в виде последовательности прямолинейных отрезков определённой длины и направления, выбранных по удовлетворяющим критериальному требованию значениям коэффициента $К_д^т$.

2. Учитываем отмеченные выше возможности ГИС «Оператор» («Карта 2011») по оцениванию тактических свойств местности и особенности методик для получения их количественных оценок. Тогда очевидно, что необходимы как расширение состава сервисных модулей – динамических библиотек (DLL) ГИС «Оператор», так и совершенствование методик решения военно-прикладных задач. Причем новые ГИС-приложения, реализующие методики оценивания ТСМ, могут быть представлены в интегрированном виде – как компонент обобщенной задачи анализа и прогнозирования оперативной обстановки.

Так, для принятия решения на бой, расположение на месте и даже на совершение марша необходимо иметь оценки и таких ТСМ, как условия маскировки, инженерного оборудования местности, наблюдения и ведения огня, а возможно, и иных свойств (условия ориентирования, водоснабжения и других). В то же время разработанные в ГИС прикладные задачи – вкладка «Расчеты по карте» – не предусмотрены для получения таких оценок.

Условия маскировки (маскировочные свойства местности) в существующих ГИС практически не оцениваются. Примем, например, в качестве показателей этого ТСМ маскировоч -

ную емкость занимаемых войсками районов (участков местности), степень их скрытия от различных средств ведения разведки противником, требуемые для укрытия войск объемы (возможно, и время проведения) маскировочных работ с использованием табельных и подручных средств маскировки. В таком случае электронная карта может использоваться лишь для получения только некоторых исходных данных, отображаемых визуально или содержащихся в далеко не полных записях о семантике объектов, внесенных в классификатор карты.

В целях оценивания условий инженерного оборудования местности может быть использовано одно из приложений ГИС – «Расчет объемов земляных работ». Однако, проведя такие расчеты, мы получим лишь отдельные исходные данные (объем перемещаемого грунта и расстояния) для определения условий выполнения некоторых задач инженерного оборудования местности, например, задач фортификационного оборудования районов, пунктов, позиций или прокладки колонных путей. Для оценки же этого ТСМ необходимо установить (вычислить) не только объемы, но и темпы (или время) выполнения задач по оборудованию местности в инженерном отношении с учетом типа и характеристик грунтов, условий их разработки, вида используемой техники, оборудования и инструментов.

Для оценивания такого ТСМ, как условия наблюдения и ведения огня явно недостаточно режима ГИС «Построение зоны видимости в заданном секторе», так как зоны видимости определяются лишь на основе информации из матрицы высот, без учета характеристик растительного покрова. В то же время леса, кустарники и даже высокая трава могут сделать участок местности закрытым для наблюдения и ведения огня.

3. Вследствие недостаточной полноты информации об объектах электронной карты потребуется подготовка пользовательских баз данных со значениями характеристик ОТЭМ (и других необходимых данных) и реляционных систем управления ими. Обусловлена такая необходимость и тем, что даже при насыщении электронной карты требуемым, довольно большим объёмом дополнительной информации о характеристиках ОТЭМ (семантики объектов карты) программный доступ к ним без участия разработчика ГИС практически невозможен.

Кроме того, на электронных картах местности семантика объектов (сведения о значениях характеристик ОТЭМ) привязана к картографическим объектам, а не к отдельным участкам местности, на множестве которых оцениваются показатели ТСМ. В этой связи для реализации приемлемых методик оценивания ТСМ необходимо расширение возможностей ГИС по перекодированию содержания информации об объектах. Один из возможных вариантов решения этой сложной задачи – разработка сервисного модуля ГИС, обеспечивающего при работе с режимами «Отображение сетки» и «Параметры сетки» вкладки «Вид» главной панели ГИС создание другого классификатора карты, с привязкой объектов к участкам местности.

4. Для проведения расчетов с использованием имеющихся сервисных модулей ГИС «Оператор» требуется ввод данных с клавиатуры. Например, чтобы установить критерии построения минимального маршрута по семантическим характеристикам необходимо заполнить таблицу «Фильтр по семантике дуг». Поэтому для автоматизированной обработки и отображения данных, результатов расчетов и прогнозов, разработчику ГИС желательно обеспечить возможность доступа программ пользователя к банку данных цифровой картографической основы, а также в автоматизированном режиме дополнять состав, метрику и семантику объектов карты, файлом или таблично задавая необходимые исходные данные.

Таким образом, решение отмеченных задач, наряду с совершенствованием методического аппарата проведения оперативно-тактических расчетов, обеспечит выполнение основных условий внедрения ГИС в систему управления войсками на оперативно-тактическом уровне как средства повышения оперативности и достоверности принимаемых решений на действия воинских частей и подразделений.

Список используемых источников

1. ГИС "Оператор" для силовых структур. – URL: // http: // gisinfo.ru / products / gisoperator11.htm (дата обращения: 20.02.2014).

2. Новые возможности ГИС «Оператор». – URL: // http: // www.gistoolkit.ru / download / prezents / operatornew.pdf (дата обращения: 20.02.2014).

3. Программное изделие. ГИС «оператор» для силовых структур (ГИС оператор). Описание применения. ПАРБ.00048-01 31 01, 2012. – 20 л. – URL: // http: // www.gistoolkit.ru / operatordoc (дата обращения: 16.03.2014).

4. Программное изделие. ГИС «оператор» для силовых структур (ГИС оператор): руководство системного программиста. ПАРБ.00048-01 32 01,2012. – 14 л. – URL: // http: // www.gistoolkit.ru / operatoradmindoc (дата обращения: 14.03.2014).

5. Геоинформационная система военного назначения ГИС «Оператор». Редактор оперативной обстановки. Редакция 2.0. – М., 2013. – URL: // http: // www.gistoolkit.ru / operatoruserdoc (дата обращения: 20.05.2014).

6. Геоинформационная система «Карта 2011» Расчеты по векторной карте: руководство пользователя. Версия 11. – Ногинск: Панорама, 1991–2013. – URL: // http: // www.gisinfo.ru (дата обращения: 20.05.2014).

7. Геоинформационная система «Карта 2011»: руководство пользователя. Версия 11. – Ногинск: Панорама, 1991–2013. – URL: // http: // www.gisinfo.ru (дата обращения: 20.05.2014).

8. КБ «Панорама»: комплекс инженерных задач автоматизирует процедуры оценки проходимости местности. – URL: // http: // www.gisa.ru›100883.html (дата обращения: 20.05.2014).

9. *Безсуднов Е.Ю., Мамедов Г.М. Новиков И.С.* Способ оценки проходимости местности вне дорог. – URL: // http: // www.findpatent.ru / patent / 250 / 2502047.html (дата обращения: 16.06.2014).

10. *Мухин А.И., Шлык А.М., Руднев Н.И.* Способ прокладывания маршрута передвижения на пересеченной местности: патент RU № 2439496, МПК G01C 21/34 от 15.07.2010 г. – URL: // http: // www.findpatent.ru / patent / 2439496.pdf (дата обращения: 16.06.2014).

11. GIS ToolKit Active. Разработка ГИС приложений: руководство программиста. Версия 11. - Ногинск: Панорама, 1991-2010. – URL: // http: // www.gisinfo.ru (дата обращения: 12.02.2014).

12. GIS ToolKit Professional for Delphi 6, 7, 2007, 2009, 2010, XE, C++ Builder 6, 2007, 2009, 2010, XE: руководство пользователя. Версия 11. – Ногинск: Панорама, 1991–2011. – URL: // http: // www.gisinfo.ru (дата обращения: 12.02.2014).

Г.К. Осипов,
доктор географических наук, профессор;
А.В. Алексеев;
А.Н. Ефимов

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассмотрена концептуальная модель геоинформационной системы военного назначения. Изложены особенности функционирования ее основных подсистем.

Ключевые слова: концептуальная модель, геоинформационная система военного назначения, геопространственная информация, система координат, военно-прикладные (расчетные) задачи.

На современном этапе исторического развития в связи с появлением новых видов вооружения, таких, как высокоточное оружие и оружие, основанное на новых физических принципах (электромагнитное, лазерное, инфразвуковое и др.), обладающих большой разрушительной силой, а также в связи с созданием средств их доставки произошел переворот в военном деле, который повлек за собой необходимость совершенствования процесса обеспечения геопространственной информацией систем управления войсками и оружием.

Одним из важнейших направлений решения этой задачи является внедрение в практику управления Вооруженными Силами геоинформационных систем военного назначения (ГИС ВН), представляющих собой программно-аппаратные комплексы, предназначенные для сбора, обработки, хранения, анализа, моделирования и наглядного отображения геопространственной информации, необходимой для поддержки принятия решений по управлению войсками в мирное и военное время, а также создания цифровых (электронных) карт и выполнения военно-прикладных (расчетных) задач, связанных с оценкой оперативно-тактических свойств местности и планированием применения сил (средств).

В настоящее время на снабжении Вооруженных Сил Российской Федерации находятся три ГИС ВН: «Интеграция», «Карта 2005» («Карта 2011») и «Оператор» (приказы МО РФ № 319 от 14.10.2004 г.; № 750 от 22.07.2009 г.; № 598 от 15.08.2013 г.). Разработчиком является ЗАО КБ «Панорама».

Данные геоинформационные системы активно используются для обеспечения органов управления войсками геопространственной информацией, так, ГИС ВН «Интеграция» применялась на всех учениях, начиная с 2004 года, таких, как Восток-2005, 2008, 2010, Байкал-2006, Мирная миссия-2007, 2009, 2010, Кавказ-2009, 2012, Запад-2009, 2013, Центр-2011. Однако, несмотря на положительные отзывы пользователей о принятых на вооружение ГИС ВН, были отмечены и их существенные недостатки, основными из которых являются [7, 8]:

1) специальное программное обеспечение реализовано не в сетевом виде, а в виде локальных автоматизированных рабочих мест, что обуславливает его высокую стоимость;

2) средства удалённого доступа через ГИС серверы проработаны слабо;

3) отсутствует единая база данных геопространственной информации в интересах обеспечения пользователей ГИС ВН, являющаяся частью геоинформационного пространства Российской Федерации, содержащая актуализированные цифровые (электронные) топографические, морские навигационные, специальные карты и планы городов всего масштабного ряда, пространственные модели местности в различных форматах с метаданными, обеспечивающая создание картографического покрытия на любые участки поверхности Земли в двухмерном и трехмерном представлении в векторной и растровой формах в различных системах координат и предоставление этой информации по запросу пользователей, с учетом их допуска, посредством геосервисов для ее просмотра и «скачивания»;

4) военно-прикладные (расчетные) задачи, связанные с оценкой оперативно-тактических свойств местности и планированием применения сил (средств) в ГИС ВН, не реализованы, аналитические функции опираются только на картометрию, морфометрию и графические преобразования, что обусловлено отсутствием алгоритмов преобразования геопространственной информации в соответствии с запросами потребителей. Несмотря на ряд разработок, которые ведутся в данном направлении [1, 2, 5, 6], оно еще недостаточно развито. Подобная ситуация в начале XXI века сложилась в армиях США и ряда стран блока НАТО, которые отказались от разработки новых ГИС ВН и выбрали в качестве ГИС ядра объединённый коммерческий комплект картографических инструментов (JCMTK) СПО ArcGis. Данное СПО широко используется в большинстве государственных ведомств и коммерческих структур и постоянно совершенствуется компанией ESRI, а подразделения инженерного корпуса разрабатывают и внедряют в практику геоинформационного обеспечения войск отдельные модули для решения военно-прикладных задач и обработки нестандартных геопространственных данных;

5) базы знаний, необходимые для решения военно-прикладных (расчетных) задач отсутствуют;

6) архитектура ГИС ВН строится на принципах так называемой «застывшей» системы, т.е. системы, содержащей один раз и навсегда заложенный в нее объем специальной информации;

7) в течение жизненного цикла ГИС ВН не сопровождаются разработчиками ПО, поэтому новые версии, да и системы в целом, мало чем отличаются друг от друга (в лучшем случае добавляются отдельные модули для решения одной-двух военно-прикладных (расчетных) задач).

Кроме того, пользователи ГИС ВН отмечают, что содержание баз данных и баз знаний должно оперативно обновляться по мере получения новых и/или более точных и детальных данных. Должно совершенствоваться и специальное программное обеспечение как в плане повышения оперативности предоставления информации потребителю, так и в плане надежности защиты специальной информации от несанкционированного допуска. Вместе с тем новое программное обеспечение должно гарантировать корректную работу с уже имеющимися базами данных и базами знаний.

В настоящей статье авторы рассматривают концептуальную модель ГИС ВН, которая, по их мнению, позволит устранить вышеперечисленные недостатки и обеспечит эффективное преобразование и представление больших объемов разнообразной геопространственной информации органам управления войсками и оружием, как в мирное, так и в военное время. Предлагаемая авторами концептуальная модель ГИС ВН состоит из трех основных подсистем (рис. 1):

1) подсистема информационного обеспечения, характеризующая процесс получения геопространственных данных, необходимых для функционирования ГИС ВН;

2) подсистема обработки геопространственных данных, характеризующая процесс автоматизированного и интерактивного преобразования координатно-временной информации в соответствии с запросами пользователей и с необходимостью ее представления в удобном для них виде;

3) подсистема доступа к информационным ресурсам ГИС ВН, характеризующая процесс получения потребителями информационных ресурсов обработанной информации.

Кратко рассмотрим особенности каждой из перечисленных подсистем.

1. Подсистема информационного обеспечения. В ней рассматриваются содержание, источники, поставщики, средства сбора и предварительной обработки геопространственных данных, необходимых для функционирования ГИС ВН. Предполагается, что в состав исходной информации будут входить весь спектр астрономо-геодезических и гравиметрических данных, определяющих пространственное положение объектов местности, и картографические модели земного пространства с их количественными и качественными характеристика-

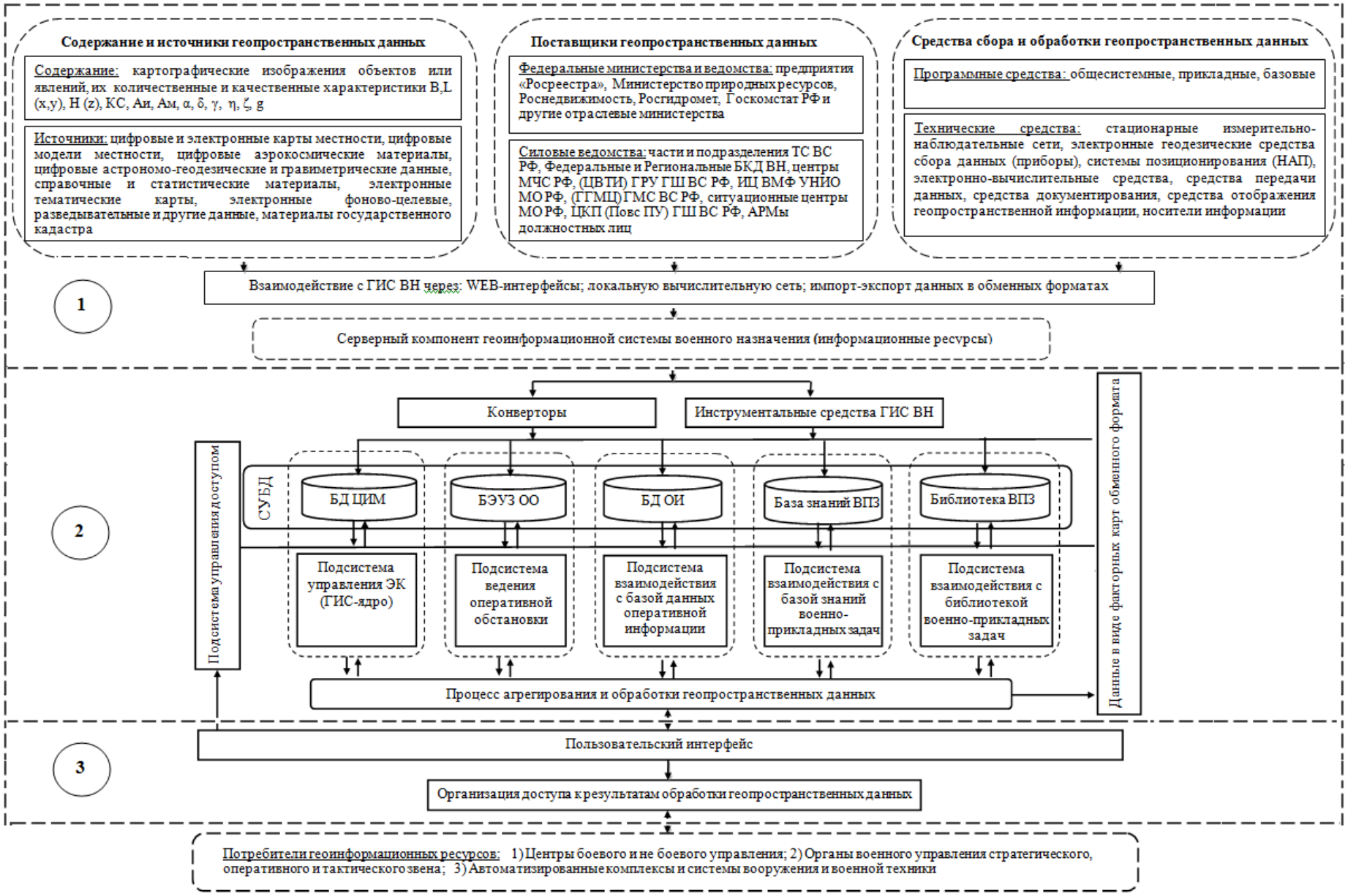


Рис.1. Концептуальная модель геоинформационной системы военного назначения

ми. Источниками геопространственной информации служат все доступные данные об объектах местности с их характеристиками, в том числе различные цифровые и электронные карты, всевозможные специальные карты и схемы, цифровые модели параметров гравитационного поля Земли, каталоги координат геодезических пунктов и пунктов Государственной нивелирной и гравиметрической сети и т.д. Поставщиками геопространственной информации должны быть все федеральные министерства и ведомства, использующие в своей работе данные о местности и расположенных на ней объектах. В первую очередь поставщиками такой информации будут геодезические и картографические предприятия Росреестра, а также части и подразделения Топографической службы Вооруженных Сил Российской Федерации.

После того как состав исходной информации сформирован, возникнет проблема приведения разнородных данных к единой основе, установленной для ГИС ВН. В первую очередь это касается пересчета всей исходной информации в единую систему геодезических координат, которой с 31 декабря 2013 г., в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. № 1463 «О единых государственных системах координат», является общеземная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 года», ее современная версия (ПЗ-90.11) [3], что обеспечит создание единого геоинформационного пространства для всех используемых в системе геопространственных данных.

Одновременно программное обеспечение ГИС ВН должно выполнять перевод всех геопространственных данных и в систему координат ГСК-2011, которая в соответствии с тем же Постановлением Правительства Российской Федерации обязательна для использования в топографо-геодезическом производстве.

Кроме обозначенной проблемы актуальными являются задачи корректного совмещения всех форматов представления геопространственной информации и перехода к единому внутреннему формату, установленному для разрабатываемой геоинформационной системы. Таким форматом представления геопространственной информации в отечественных ГИС ВН является формат SFX.

Представляется, что актуальной задачей станет и фильтрация исходной геопространственной информации. Дело в том, что одни и те же объекты и элементы местности могут содержаться в различных специальных материалах, поставляемых различными министерствами и ведомствами. При этом одна и та же информация в разных источниках будет содержаться с различной точностью, а применительно к площадным объектам местности и рельефу, еще и с различной детализацией. Отсюда и возникает проблема выделения из имеющихся исходных массивов наиболее качественной по точности и наиболее подробной по содержанию информации.

2. Подсистема обработки геопространственных данных. Она включает в себя пять основных элементов: 1) элемент управления электронными картами (ГИС-ядро); 2) элемент ведения оперативной обстановки; 3) элемент взаимодействия с базой данных оперативной информации; 4) элемент взаимодействия с базой знаний военно-прикладных (расчетных) задач; 5) элемент взаимодействия с библиотекой военно-прикладных (расчетных) задач.

Кратко рассмотрим основные функции каждого элемента данной подсистемы [4] .

Элемент управления электронными картами (ГИС-ядро). Он осуществляет связь с базой данных цифровой информации о местности (БД ЦИМ) и обеспечивает выполнение следующих функций:

– управления отображением электронных карт в заданных масштабах, системе координат, картографической проекции, по заданным критериям отображения, в соответствии с требованиями информационно-картографического обеспечения Топографической службы Вооруженных Сил;

– поиска объектов цифровой информации о местности по заданным критериям;

– ведения классификатора цифровой информации о местности;

– реализации расчетных функций картографической алгебры, аналитических и геометрических функций;

– сохранения цифровой информации о местности во внутреннем формате ГИС ВН или с использованием картографического конвертора цифровой информации о местности в обменном формате;

– получения твердых копий цифровой информации о местности.

Элемент ведения оперативной обстановки. Он осуществляет связь с библиотекой электронных условных знаков оперативной обстановки (БЭУЗ ОО) и обеспечивает выполнение следующих функций:

– поддержки библиотеки условных знаков оперативно-тактического назначения, соответствующей предметной области ГИС ВН;

– поддержки правил нанесения оперативно-тактической обстановки в соответствии с предметной областью ГИС ВН;

– формирования в интерактивном режиме оперативно-тактической обстановки на электронной карте;

– формирования в автоматическом режиме оперативно-тактической обстановки на электронной карте в заданной системе условных знаков по данным, имеющимся в базе данных оперативно-тактической информации;

– отображения оперативной обстановки, нанесенной на электронную карту.

Элемент взаимодействия с базой данных оперативной информации. Он осуществляет связь с базой данных оперативной информации (БД ОИ) и обеспечивает выполнение следующих функций:

– взаимодействия ГИС ВН с базой данных оперативной обстановки через программные интерфейсы;

– просмотра, редактирования, добавления записей и разделов тематической информации в базе данных оперативной обстановки;

– формирования и выполнения запросов данных, необходимых для принятия решений должностными лицами;

– нанесения оперативно-тактической обстановки на электронные карты;

– графического отображения результатов решения военно-прикладных задач;

– выполнения запросов и получения справочной атрибутивной информации об объектах электронной карты из базы данных оперативной обстановки.

Элемент взаимодействия с базой знаний военно-прикладных задач. Он осуществляет связь с базой знаний военно-прикладных (расчетных) задач (ВПЗ) и обеспечивает выполнение следующих функций:

– поддержания в актуальном состоянии знаний, необходимых для решения военно-прикладных задач в среде ГИС ВН;

– формирования новых знаний о предметной области;

– формирования запросов к базе знаний на получение справочной информации, необходимой для принятия решений должностными лицами.

Элемент взаимодействия с библиотекой военно-прикладных (расчетных) задач. Он осуществляет связь с библиотекой военно-прикладных (расчетных) задач и обеспечивает выполнение следующих функций:

– запуска и решения военно-прикладных (расчетных) задач в среде ГИС ВН;

– получения и отображения результатов решения военно-прикладных (расчетных) задач на электронных картах;

– использования функций ГИС-ядра при работе с цифровой информацией о местности;

– использования оперативно-тактической информации при решении военно-прикладных (расчетных) задач;

– сохранения результатов решения военно-прикладных (расчетных) задач в базе данных оперативной информации.

3. Подсистема доступа к информационным ресурсам ГИС ВН. Она включает в себя два элемента: элемент управления доступом и пользовательский интерфейс. Кратко рассмотрим их основные функции.

Элемент управления доступом. Он обеспечивает выполнение следующих функций:

– аутентификации пользователей и проверки их прав и полномочий на работу с информационными ресурсами ГИС ВН;

– разграничения доступа к информационным ресурсам ГИС ВН;

– индивидуальной настройки параметров для каждого пользователя (должностного лица).

Пользовательский интерфейс. Он обеспечивает выполнение следующих функций:

– наглядности использования предметной области, принятой для решения военно-прикладных (расчетных) задач;

– обязательного использования русского языка при обозначении и названии пунктов меню, элементов управления, инструментальных панелей, диалоговых окон при выдаче служебных, предупреждающих, информирующих, управляющих или справочных сообщений;

- информирования оператора о результатах контроля правильности его действий и предупреждения о возможных ошибках оператора или сбое программного обеспечения в результате его некорректных действий;

– подключения оператора к справочной системе ГИС ВН путем интерактивного вызова электронных инструкций и контекстно-зависимых справок о тех или иных возможностях ГИС ВН, необходимых для решения поставленной задачи, а также путем применения «всплывающих» подсказок;

– возможности настройки оператором необходимой конфигурации элементов пользовательского интерфейса для более эффективного решения той или иной военно-прикладной (расчетной) задачи.

Практическая реализация рассмотренной выше концептуальной модели ГИС ВН обеспечит предоставление потребителям геоинформационных ресурсов всей информации, необходимой для управления войсками и оружием. Отличительной особенностью ГИС ВН станет дифференцированность предоставления геопространственных данных для различных звеньев управления войсками и системами оружия. Иначе говоря, тот или иной орган военного управления будет обеспечиваться только тем комплектом геопространственных данных, который необходим и достаточен для решения задач по предназначению.

Список используемых источников

1. *Осипов Г.К., Алексеев А.В.* Научно-методические основы автоматизированного создания электронных специальных карт пластики рельефа / ФГУП НТС «Информтехника». – М., 2012. – Вып. 4 (256). – С. 31–38.

2. *Осипов Г.К., Ефимов А.Н.* Совершенствование информационного обеспечения геоинформационных систем военного назначения // Сборник научных трудов ОВА. – СПб., 2011. – Вып. 111. – С. 64–72.

3. Постановление Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. № 1463. О единых государственных системах координат. – URL: http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70192380/ (дата обращения: 30.08.2015).

4. *Присяжнюк С.П., Филатов В.Н., Федоненков С.Л.* Геоинформационные системы военного назначения: учебник. – СПб.: 2009, БГТУ. – 210 с.

5. *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.

6. *Осипов А.Г., Ефимов А.Н.* Методика комплексной оценки оперативно-тактических свойств местности в системах поддержки принятия решений с использованием геоинформационных технологий // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб., 2014. – Вып. 642. – С. 102–109.

7. *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., 2011. – Вып. 631. – С. 130–132.

8. *Осипов Г.К., Присяжнюк А.С., Ефимов А.Н.* Теоретические и методические основы формирования объектно-ориентированной информационной модели навигационной базы данных // Информация и космос – 2013. – № 1. – С. 35–40.

В.И. Сучков,
кандидат техн. наук, доцент;
А.Н. Кравцов,
кандидат техн. наук доцент;
В.В. Ткаченко,
кандидат техн. наук

ПОДХОД К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ ЗНАНИЙ О МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В статье изложен подход к представлению знаний в специальном программном обеспечении комплексов обработки телеметрической информации, обеспечивающий настройку синтезируемого специального программного обеспечения на обработку телеметрической информации практически любого контролируемого объекта, накопление и систематизацию знаний, необходимых для обработки его информации. Такой подход предполагает, что знания (модули) в загрузочном виде концентрируются в файле с библиотечной организацией.

Ключевые слова: знания, специальное программное обеспечение, комплекс обработки информации, модуль обработки.

Представление знаний и разработка систем, основанных на знаниях, являются одним из основных направлений в области искусственного интеллекта. Это направление связано с разработкой моделей представления знаний, созданием баз знаний, образующих ядро систем искусственного интеллекта. Оно включает в себя модели и методы извлечения и структурирования знаний и сливается с инженерией знаний [1].

Наибольшие успехи на пути интеллектуализации процесса автоматизированной обработки телеметрической информации (ТМИ) были достигнуты при создании специального программного обеспечения (СПО) комплексов обработки информации (КОИ), в которых организация знаний о методах обработки реализована в виде базы модулей обработки (БМО).

На рис. 1 представлена структура БМО, которая обеспечивает динамический подход к организации знаний о методах организации и реализации процесса обработки ТМИ и является, по сути, базой модулей или базой знаний [2].

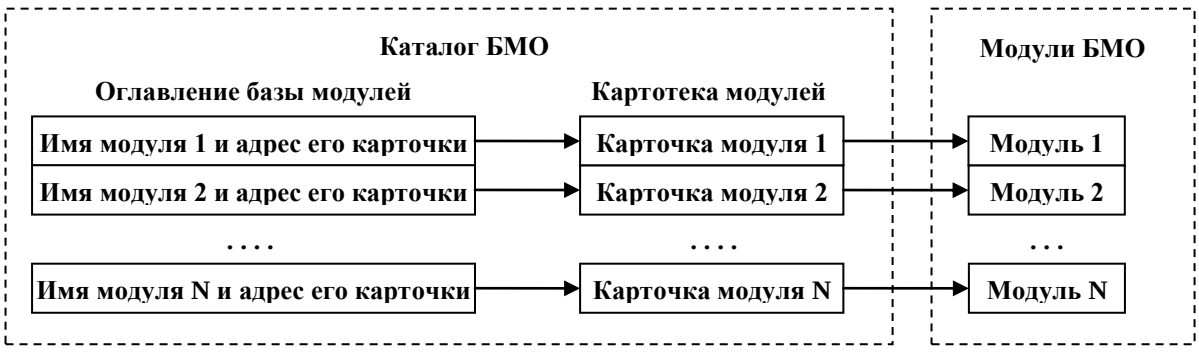


Рис.1. Структура базы модулей обработки

Все модули, размещаемые в разделе «Модули БМО», подразделяются на следующие категории:

– *функциональные модули*, представляющие собой знания о возможных методах обработки результатов измерений функциональных, сигнальных, температурных, расчетных и

т.п. параметров; эти модули являются программной реализацией соответствующих алгоритмов преобразования измерительной информации: декоммутации, прореживания, сжатия, дешифровки, определения фактов срабатывания сигнальных параметров и др.;

– *служебные модули*, являющиеся знаниями о методах определения и учета калибровочной информации, определения текущего режима работы контролируемого объекта и его телеметрической системы, о методах определения текущей программы сбора телеизмерений;

– *специальные (вспомогательные) модули*, или модули настройки, представляющие собой знания по формированию формата параметров некоторых модулей из групп, рассмотренных выше, если эти форматы не могут быть заданы при подготовке исходных данных;

– *организационные модули*, являющиеся знаниями о принципах построения рабочих программ обработки телеметрической информации и методах организации процесса обработки;

– *системные модули*, представляющие собой знания о необходимой среде выполнения рабочих программ обработки или СПО КОИ, которая в явном виде не определяется. Примером таких модулей являются модули обслуживания инженера по организации процесса обработки, модули синхронизации вывода, ведущий модуль рабочей программы процесса обработки, осуществляющей чтение значений телеметрируемых параметров из входного буфера, модули компилятора рабочих программ обработки и т.п. Модули данной группы не подлежат коррекции со стороны пользователя и поэтому получили название резидентных модулей.

Операционные системы ЭВМ комплексов обработки ТМИ обладают достаточно широкими возможностями по использованию библиотечной организации модулей, а также по формированию связей модулей (согласованию по данным и управлению), в том числе модулей, входящих в состав одной программы. Однако специфичность решаемых КОИ задач требует модификации принятых в операционных системах методов организации модулей обработки, определяет и позволяет реализовать ряд дополнительных требований к характеристикам СПО обработки ТМИ.

Высокая интенсивность потока измерительной информации, поступающей на вход КОИ, с одной стороны, и требование обеспечения ее обработки в реальном масштабе времени, с другой стороны, предопределяют необходимость минимизации времени исполнения рабочих программ обработки [3].

Анализ возможных ресурсных затрат, особенно времени исполнения модулей обработки, показывает, что при сравнительно несложной алгоритмической структуре этих модулей, выполняющих типовые преобразования измерительной информации, основные временные затраты связаны с организацией взаимодействия модулей и передачей информации между ними [4]. Порядок организации информационного взаимодействия программных модулей, устанавливаемый и предлагаемый операционной системой ЭВМ комплекса обработки ТМИ, не является рациональным и требует усовершенствования.

Другой особенностью организации и реализации процесса обработки является то, что реализующие его рабочие программы, осуществляют потоковую схему обработки измеряемых параметров. Синтезируемые рабочие программы обработки имеют иерархическую структуру, узлами которой являются модули обработки, а вершиной иерархии – ведущий модуль рабочей программы, который обеспечивает чтение измерений параметров из очередного входного буфера, формируемого в оперативной памяти ЭВМ КОИ. Учитывая высокую интенсивность потока измерительной информации, поступающей на вход КОИ, данный модуль активизируется десятки тысяч раз в секунду, поэтому для обеспечения обработки в реальном масштабе времени модули рабочей программы должны быть связаны друг с другом наиболее коротким путем.

Таким образом, можно сформулировать следующие требования для разработки базы модулей знаний о методах реализации и организации динамического подхода:

– минимизация расхода ресурсов ЭВМ, реализующей СПО КОИ при переходе от выполнения одного модуля обработки к другому;

– независимая и параллельная работа группы инженеров при подготовке необходимых знаний (модулей) о методах обработки;

– автоматическая настройка модулей друг относительно друга по управлению и используемым данным в соответствии с указаниями инженера по организации процесса обработки.

Учет данных требований к организации взаимосвязи модулей обработки предлагается реализовывать в виде соглашения о связи модулей, которое предусматривает следующие разделы: соглашение о представлении; соглашение о параметрах модуля.

Соглашение о представлении определяет, что все модули, размещаемые в базе знаний о методах обработки, разрабатываются на машинно-ориентированных языках для обеспечения доступа к регистрам арифметико-логического устройства (АЛУ) ЭВМ КОИ и хранятся в базе знаний в загрузочном виде.

Результаты анализа показывают, что исходные данные, которыми оперирует произвольный модуль в составе рабочей программы обработки ТМИ, могут определяться в задании на обработку ТМИ или в системе подготовки и хранения исходных данных. В этом случае действует *соглашение о параметрах модуля*, в котором исходные данные выступают как значения фактических параметров модуля и подразделяются на следующие типы:

– адресные параметры, обеспечивающие связь по управлению и определяющие возможные адреса перехода от конкретного модуля к следующему согласно заданию на обработку, имеют двухсловную структуру, в которой первое слово является форматом адреса точки входа в следующий модуль, а второе слово является форматом адреса базы данных модуля обработки;

– параметры, значения которых определяются в составе задания на обработку в виде целого десятичного, шестнадцатеричного, двоичного числа или индекса измерения телеметрируемого параметра, но с априорно известным форматом;

– параметры, являющиеся адресом хранения значения измерения параметра, которое необходимо сохранить для последующей работы модуля обработки;

– параметры, значения которых задаются при подготовке исходных данных контролируемого объекта как значения элемента или группы элементов данных записей системы подготовки и хранения исходных данных в формате, установленном для соответствующих паспортов измеряемых параметров или коммутаторов различных ступеней;

– параметры, не имеющие априорно заданного формата или структуры, формирование и контроль за которыми возлагаются на модули настройки, которые, в свою очередь, должны разрабатываться пользователем базы знаний;

– параметры, являющиеся промежуточными результатами работы модуля обработки, которые могут потребоваться при последующих активациях модуля, и поэтому они должны быть сохранены в доступном только для данного модуля месте;

– таблицы переходов по вторичным индексам, которые определяются в модулях декоммутации параметров третьей ступени коммутации.

Использование регистров АЛУ ЭВМ КОИ позволяет организовать наиболее короткий путь для передачи управления и данных от одного модуля обработки к другому. В таком случае подразумевается соглашение об использовании регистров АЛУ ЭВМ КОИ, не предусматривающее жесткой специализации регистров. Более того, они могут использоваться по усмотрению пользователя, но должно быть обеспечено сохранение и, при необходимости, восстановление их первоначального назначения.

В качестве примера рассмотрим соглашение об использовании регистров АЛУ персональных ЭВМ (ПЭВМ), являющихся основой современных автоматизированных комплексов обработки ТМИ.

Арифметико-логическое устройство современной ПЭВМ содержит тридцать два регистра, в той или иной мере доступных для использования программистом. Данные регистры можно разделить на две группы:

– 16 системных регистров;
– 16 пользовательских регистров.

Пользовательскими регистры называются потому, что программист может использовать их при написании своих программ. К этим регистрам относятся:

– восемь 32-битных регистров общего назначения (РОН), которые могут использоваться программистами для хранения данных и адресов; будем называть их РОН1 – РОН8; эти регистры позволяют выполнять операции над числами, логическими данными, адресные операции при работе с массивами данных; они используются для временного хранения данных и результатов выполнения динамических операций, а также для хранения и изменения базовых адресов и индексов, которые используются процессором при вычислении исполнительных адресов данных в памяти ЭВМ;
– регистр указателя команды (РУК);
– регистр флагов (РФ);
– шесть регистров сегментов (РС1–РС6).

Соглашение не конкретизирует данные регистры по их назначению, но вводит следующий порядок их использования.

– РУК или РОН8 используются в качестве базовых регистров для каждого модуля обработки; при передаче управления от одного модуля к другому они загружаются адресом точки входа в модуль, которому передается управление; такой адрес в виде слова параметра типа М хранится в базе данных модуля обработки;
– РОН7 используется в качестве базового регистра адреса базы данных текущего модуля обработки; при передаче управления он перезагружается адресом базы данных модуля, которому передается управление; такой адрес в виде слова параметра типа М также хранится в базе данных модуля обработки;
– РОН6 предназначен для размещения базового адреса текущей системной области сохранения выполняющейся рабочей программы обработки (СПО КОИ);
– РОН5 используется для хранения адреса точки входа ведущего модуля рабочей программы обработки;
– РОН4 используется для хранения адреса таблицы формальных переходов в рабочей программе обработки;
– РОН3 используется для хранения адреса во входном буфере результата измерения телеметрируемого параметра, обработка которого проводится в данный момент времени;
– РОН2 и РОН1 используются для хранения и передачи значения обрабатываемого параметра; если в качестве обрабатываемой величины выступает массив параметров, то РОН2 используется для размещения базового адреса массива, а РОН1 – для информации о его длине; в этих же регистрах размещается результат работы текущего модуля в виде целого числа, кода или числа с плавающей точкой.

Таким образом, следование данной части соглашения о взаимодействии создает условия, которые гарантируют, что при передаче управления очередному модулю обработки в РОН2 и РОН1 в зависимости от вида текущего обрабатываемого параметра будет находиться его код или дешифрированное значение или адрес массива и его длина или состояние сигнального параметра. Регистры РУК, РОН7 будут содержать соответственно адрес модуля, которому передается управление, и адрес его базы данных, а регистры РОН5 и РОН4 – адреса обязательных компонентов рабочей программы обработки: программы чтения очередного результата телеизмерения из входного буфера и таблицы формальных переходов.

Данное соглашение позволяет определить понятия карточки и базы данных модуля обработки [5]. Причем, карточкой модуля называется список всех его параметров как по типу, так

и по их количеству в модуле обработки, упорядоченный в соответствии с перечислением параметров. В свою очередь, карточки модулей размещаются в соответствующем разделе базы знаний (см. рис.1) и представляют собой списки параметров в терминах их типов, имеющих априорно установленные форматы или форматы, для которых есть средства настройки (модули настройки).

Также можно сказать, что базой данных модуля обработки называется один из результатов порождаемых компилятором рабочих программ. Она создается в оперативной памяти ЭВМ КОИ для каждого модуля, включаемого в синтезируемую рабочую программу, на основании его карточки как совокупность перечисленных в карточке форматов или полей. Заполнение этих полей осуществляется также компилятором на основании сведений об адресах расположения в оперативной памяти компонентов рабочей программы (модулей обработки, ведущего модуля, таблицы формальных переходов и т.п.) и сведений, извлекаемых компилятором из задания на обработку и информационного фонда системы подготовки и хранения данных.

Заметим, что некоторые модули, в зависимости от результата реализуемых ими вычислений, могут иметь несколько выходов и, следовательно, несколько параметров типа М, значения которых должны быть представлены в базе данных этого модуля и должны размещаться в начале списка значений его параметров.

Наконец, отдельные модули при их размещении и настройке в составе рабочей программы обработки могут иметь несколько баз данных, имеющих одинаковую структуру (описание в виде карточки) и различающихся значениями содержащихся в них параметров. Это позволяет в составе рабочей программы использовать один и тот же модуль для обработки различных телеметрируемых параметров. В общем случае число баз данных определяется количеством типов телеметрируемых параметров, выбранных для обработки данным модулем в задании на обработку.

Так, например, количество баз данных модуля дешифровки равняется числу телеметрируемых параметров, измерения которых принимаются во внимание в данном сеансе обработки, а число баз данных модуля декоммутации температурных параметров равно количеству типов различаемых в сеансе обработки коммутаторов третьей ступени.

Таким образом, карточки модулей обработки содержат исчерпывающую информацию, обеспечивающую превращение библиотеки модулей обработки в базу знаний о методах организации и реализации обработки ТМИ.

В целом предлагаемый подход создает условия для минимизации расхода ресурсов при переходе от выполнения одного модуля обработки к другому за счет использования оперативной памяти ЭВМ. Он позволяет организовать независимую и параллельную работу группы инженеров при подготовке необходимых модулей обработки и обеспечивает автоматическую настройку и согласование работы модулей друг относительно друга в составе рабочей программы в соответствии с указаниями инженера по организации процесса обработки ТМИ.

Список используемых источников

1. *Рудинский И.Д.* Технология проектирования автоматизированных систем обработки информации и управления: учеб. пособие. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 304 с.

2. *Самойлов Е.Б., Кравцов А.Н., Сучков В.И.* Автоматизированные системы специального назначения: учеб. пособие. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2013. – 160 с.

3. Основы формирования структур телеметрических данных: учеб. пособие / В.Г. Зиновьев, В.В. Казаков, В.В. Мышко, В.И. Сучков. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. – 93 с.

4. Технология разработки программного обеспечения: учеб. пособие / В.В. Алейник, С.Г. Ермаков, А.Н. Пугачев и др. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. – 240 с.

5. *Сучков В.И., Казаков В.В., Кравцов А.Н.* Принципы построения и функционирования программного обеспечения комплекса средств автоматизированной обработки измерительной информации «Родник»: учебно-метод. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. – 124 с.

Д.Р. Абсалямов,
кандидат техн. наук;
В.М. Моторин,
кандидат техн. наук;
С.Н. Буяков,
кандидат техн. наук;
А.Н. Миргородский;
А.В. Литвинюк

УПРАВЛЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ СИСТЕМОЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ С ОБОСНОВАНИЕМ ТРЕБОВАНИЙ К ЕЕ ПЕРСПЕКТИВНОМУ ОБЛИКУ

Несоответствие режимов функционирования воздушной системы обеспечения теплового режима специальных объектов внутренним и внешним возмущающим воздействиям в виде тепловлажностных нагрузок, которые должны компенсироваться этой системой, приводит к значительному перерасходу энергоресурсов, а термодинамический потенциал наружного воздуха не используется. Поэтому при формировании требований к перспективному облику ВСОТР необходимо предусмотреть также переход на использование в этой системе энергосберегающих технологий обработки воздуха.

Ключевые слова: специальные объекты термостатирования, система обеспечения теплового режима, энергоэффективность.

В качестве объекта термостатирования могут рассматриваться разные по назначению и конструктивному исполнению объекты, общим для которых является наличие у них следующих существенных признаков:

– необходимость обеспечения подпора (избыточного по сравнению с атмосферным давления Δр не более 3 кПа) в объекте термостатирования;

– минимальный расход наружного воздуха определяется только значением требуемого подпора в объекте термостатирования;

– отсутствие протяженных сетей транспортировки наружного воздуха, что могло бы служить ограничением его расхода;

– в зависимости от термодинамического потенциала наружного воздуха значение расхода наружного воздуха может быть увеличено до максимального значения, равного расходу приточного воздуха;

– наличие влияния на нормируемые параметры воздушной среды в объекте термостатирования внешних возмущающих воздействий $q_{нар}$ (в виде теплопоступлений или теплопотерь) со стороны окружающей среды; кроме того, эти возмущающие воздействия могут изменяться в течение суток (т. е. имеют стохастический характер изменения во времени);

– отсутствие постоянного или длительного пребывания людей в объекте термостатирования, что снимает необходимость подачи в него санитарной нормы наружного воздуха;

– отсутствие ограничения (в виде запрета) на использование рециркуляционного воздуха;

– наличие внутренних тепловыделений $q_{вн}$, имеющих циклический и переменный характер изменения во времени, что обусловлено особенностями работ, выполняемых в объекте;

– отсутствие внутренних влаговыделений в объекте термостатирования;

– обеспечение требуемого температурно-влажностного режима в объекте термостатирования за счет использования воздушной системы обеспечения теплового режима (ВСОТР).

Для специалистов, занимающихся вопросами создания и эксплуатации таких энергоемких

систем, как ВСОТР специальных объектов термостатирования, не может быть не актуальной проблема повышения эффективности использования энергетических ресурсов. Значимость этой проблемы еще больше возрастает в связи с требованиями Федерального закона [1], а также Указом Президента РФ №889 от 4.06.2008 г., где ставится задача повысить энергоэффективность экономики страны к 2020 году не менее чем на 40 % по сравнению с 2007 годом [2]. Противоречие, являющееся причиной значительного расхождения между желаемыми и действительными показателями энергетической эффективности ВСОТР, заключается в несоответствии режимов ее функционирования тем возмущающим воздействиям, которые должны компенсироваться этой системой.

Основные причины несоответствия следующие. Во-первых, поскольку возмущающие воздействия на нормируемые параметры воздушной среды в объекте термостатирования могут существенно изменяться в течение суток, то и компенсируемые ВСОТР тепловлажностные нагрузки также могут динамично изменяться. В соответствии с этими изменениями должны своевременно корректироваться и режимы функционирования ВСОТР с их расходными и термодинамическими параметрами. Возлагать же решение этой задачи регулирования только на обслуживающий персонал, полагаясь на их опыт, знания и практические навыки, будет неправильным. Поэтому перспективная ВСОТР должна быть адаптивной, т. е. уметь самоприспосабливаться к изменению стохастически действующих возмущающих воздействий путем корректировки своего алгоритма функционирования и поиска оптимальных термодинамических процессов обработки воздуха.

Во-вторых, управляющее воздействие в системе автоматического управления ВСОТР определяется в настоящее время только отклонением параметров воздушной среды в объекте термостатирования от их нормативно-заданных предельных значений, а причины этого отклонения, т. е. те возмущения, под влиянием совместного воздействия которых произошло это отклонение, не анализируются. А ведь одно и то же отклонение параметров воздушной среды в объекте термостатирования может быть вызвано различными причинами. Например: изменением внутренних тепловыделений непосредственно в самом объекте или изменением параметров климата, или изменением параметров воздуха в каналах его транспортировки, или, наконец, возникшей неисправностью в какой-либо из подсистем ВСОТР. Значит, и управляющее воздействие, направленное на компенсацию возникших возмущений, а следовательно, и на устранение появившегося отклонения параметров воздушной среды в объекте, должно определяться не по величине этого отклонения, а по изменениям тех возмущений, в результате совместного воздействия которых оно произошло.

В-третьих, до сих пор при управлении ВСОТР решается только задача стабилизации параметров воздушной среды в объекте термостатирования в нормативно-заданных пределах, а задача организации управления процессами обработки воздуха в ВСОТР по энергосберегающим технологиям с целью сокращения расходов на потребляемые при этом энергоресурсы до оптимальных значений этих расходов – такая оптимизационная задача при управлении ВСОТР даже не ставится. В результате используемая технология обработки воздуха оказывается неэкономичной: имеют место значительные перерасходы энергоресурсов, а термодинамический потенциал наружного воздуха вовсе не используется. Поэтому при формировании требований к перспективному облику ВСОТР необходимо предусмотреть также переход на использование в этой системе энергосберегающих технологий обработки воздуха.

В-четвертых, организация управления ВСОТР на уровне системы, основанная на жесткой последовательности управляющих воздействий (когда каждое последующее начинается тогда, когда прекращается предыдущее), не предусматривает приложения управляющих воздействий одновременно в каждой из подсистем ВСОТР. Это обстоятельство является причиной как значительной инерционности в управлении, так и причиной возникновения возможных автоколебательных процессов, ведущих к «раскачиванию» системы. Перевод же управления на локальный уровень (на уровень подсистем), где объектом управления будет

являться не система в целом, а ее подсистемы, позволил бы значительно снизить инерционность в управлении ВСОТР и исключить причину возникновения возможных автоколебательных процессов.

Для оценки качества технологического процесса в ВСОТР должен использоваться комплекс технико-экономических показателей (ТЭП) (рис. 1), в котором приоритетная роль принадлежит показателям группы А, характеризующим функциональные, расходные и термодинамические параметры функционирования ВСОТР [3]. Эти параметры не зависят от рынка и отражают, во-первых, уровень и надежность обеспечения требуемых значений нормируемых параметров воздушной среды в объекте (подгруппа показателей A_1); во-вторых, те значения натуральных затрат энергоресурсов, которые необходимо использовать для обеспечения ВСОТР выполняемых ею функций (подгруппа показателей A_2).

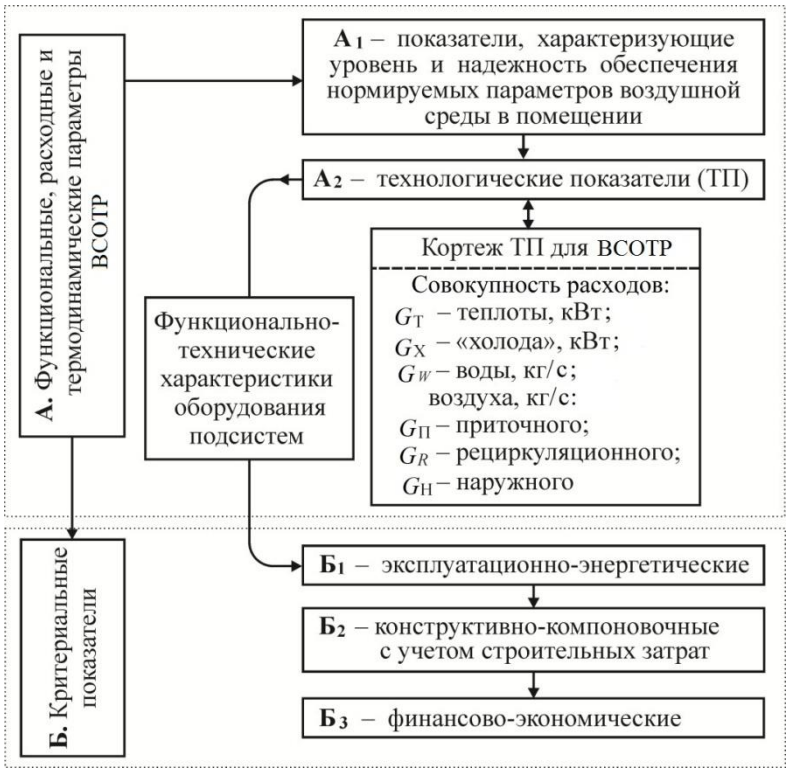


Рис. 1. Структура комплекса ТЭП для энергетической оценки технологического процесса обработки воздуха в ВСОТР

Показатели подгруппы A_1 характеризуют степень выполнения системой заданных функций, т. е. степень обеспечения нормируемых параметров воздушной среды (его чистоты, газового состава, температуры, влажности). Количественная оценка заданной обеспеченности требуемых параметров является той начальной стадией оценки принимаемых решений, без которой все другие показатели не имеют смысла.

Определяющая роль в группе А принадлежит технологическим показателям (ТП), объединенным в подгруппу A_2. ТП – совокупность показателей, отображающая прежде всего натуральные затраты в виде расходов теплоты Q_T, «холода» Q_X, воздуха (наружного G_H, рециркуляционного G_{R1}, G_{R2}) и воды G_W на его увлажнение за любой исследуемый период эксплуатации ВСОТР. К тому же эти показатели являются ориентируемыми. Это означает, что для заданных исходных условий существует такое числовое значение для каждого из них, которое может быть принято в качестве желаемого предела (эталона). Тогда любое рассматриваемое решение по ВСОТР может быть оценено по степени отклонения фактического значения показателя от его предельного значения, принятого в качестве эталонного.

Значения ТП вычисляются только для тех вариантов систем, которые обеспечивают поддержание требуемых нормируемых параметров воздушной среды в объекте, т. е. показатели подгруппы $А_1$ удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ним.

Взаимосвязанная и взаимозависимая совокупность ТП, когда изменения одного из них приводят к изменению других, называют кортежем ТП. Он представляет собой вектор показателей $<Q_Т, Q_Х, G_W, G_Н, G_{R1}, G_{R2}>$, количественно характеризующий термодинамическое состояние ВСОТР.

В группу Б включены показатели, которые определяют целевые функции оптимизации. Их обобщение представлено тремя подгруппами показателей: $Б_1$ (эксплуатационно-энергетические), $Б_2$ (конструктивно-компоновочные), $Б_3$ (финансово-экономические). Подробно они рассмотрены в работе [3].

Показатели подгруппы $Б_1$ (эксплуатационно-энергетические) учитывают величину затрачиваемой электрической и тепловой энергии на реализацию кортежа ТП за расчетный период годового цикла эксплуатации отдельных подсистем и системы в целом с учетом особенности внешних систем электро-, тепло-, водоснабжения. В отдельных случаях может возникнуть необходимость в оценке энергетического или эксергетического КПД системы. Сюда же включается безотказность, удобство обслуживания, расход ремонтных материалов и другие особенности эксплуатации систем.

В подгруппу $Б_2$ (конструктивно-компоновочные показатели) включены различные виды натуральных затрат: расходы металла и других материалов, занимаемые строительные объемы и площади, удобство монтажа и ремонта; индустриальность конструкций; эстетические характеристики и другие сведения, которые могут послужить в качестве дополнительной информации для принятия решений по компоновке и монтажу систем.

Показатели подгруппы $Б_3$ (финансово-экономические) учитывают все предыдущие показатели, выраженные в денежном исчислении. В обобщенном виде они представляются капитальными, эксплуатационными, приведенными затратами.

Несмотря на то, что ТП не тождественны потреблению тепловой и электрической энергии, тем более они непосредственно не выражают рыночный уровень материальных затрат, тем не менее именно они составляют каркас комплекса ТЭП, поскольку являются исходными для вычисления всех других показателей. При этом следует отметить, что непосредственной связи кортежа ТП с показателями (показателями группы Б) не существует. Она проявляется только через функционально-технические характеристики оборудования подсистем (см. рис. 1), которые содержат сведения о типе, типоразмере и рабочих параметрах функционирования (расходных и термодинамических параметрах взаимодействующих сред) оборудования подсистем.

При известных значениях кортежа ТП вычисление показателей (показателей группы Б) в определенном смысле можно отнести к задачам технического характера. Поэтому для оценки качества технологического процесса в рассматриваемой ниже оптимизационной задаче используется кортеж ТП, который будет выполнять функцию критериального показателя.

Критериальная (или целевая) функция для формирования такого показателя записывается в неявном виде следующим образом:

$$\text{ТП}(t) = F\{Q_T(g(t)), Q_X(g(t)), G_W(g(t)), G_{\text{Н}}(g(t)), G_{R1}(g(t)), G_{R2}(g(t))\}, \qquad (1)$$

где Q_T – расход теплоты, кВт;

Q_X – расход «холода», кВт;

G_W – расход воды, кг/с;

$G_{\text{Н}}$ – расход наружного воздуха, кг/с;

G_{R1} – расход воздуха первой рециркуляции, кг/с;

G_{R2} – расход воздуха второй рециркуляции, кг/с;

g – управляющие переменные.

Управляющая переменная – это переменная модели, значения которой подвергаются изменению в процессе поиска решения этой задачи. Это те характеристики объекта, значения которых можно варьировать для того, чтобы достигнуть цели. Значения управляющих переменных передаются в качестве уставок на локальный уровень – значения вектора $\bar{g}$. Управляющие переменные являются альтернативой управляющих (целенаправленных) воздействий.

Сложность представления целевой функции (1) (целевого функционала) в явном виде обусловлена как особенностями самого кортежа ТП, так и особенностями взаимосвязей ВСОТР с окружающей средой.

Таким образом, учитывая вышесказанное, для адаптивной ВСОТР разработан принципиально новый алгоритм управления. Структура такого алгоритма показана на рис. 2. В общем виде она включает в себя верхний уровень управления; локальный уровень управления и связь между этими уровнями управления.

Рис. 2. Структура алгоритма управления адаптивной ВСОТР

На верхнем уровне управления в заданные моменты времени определяется фактическое термодинамическое состояние ВСОТР и объекта термостатирования. Для этого производятся замеры необходимых термодинамических параметров воздуха в соответствующих точках (блок 1). По результатам этих замеров определяются фактические термодинамические параметры воздуха (параметры в точке $У_{факт}$) в объекте термостатирования (блок 2), а также рассчитываются возмущающие воздействия, объединенные в соответствующий вектор $\bar{f}$ и представляющие собой реальные тепловлажностные нагрузки на ВСОТР в момент проведения замеров (блок 3). Следует отметить, что фактические возмущающие воздействия $\bar{f}$, имеющие место в данный момент времени, могут быть определены только экспериментальным путем на основе замеров, и попытки использовать для этого аналитические зависимости не являются результативными.

На основе полученных расчетных данных о возмущениях $\bar{f}$ определяется оптимальный режим функционирования ВСОТР при таких нагрузках (блок 4). Для этого в блоке 4 устанавливаются корреляционные связи между возмущениями $\bar{f}$ и теми оптимальными управляющими воздействиями в виде расчетных значений $\bar{g}$ для регулируемых параметров $\bar{y}$ в каждой из подсистем ВСОТР, которые должны иметь место при возмущениях $\bar{f}$.

Расчетная информация, полученная в блоке 4, включает в себя следующее:

– расчетную зону, к которой относится точка наружного климата (блок 5);

– термодинамические параметры расчетной точки $У_{расч}$, в которой должны находиться параметры воздушной среды в объекте термостатирования при возмущениях $\bar{f}$ (блок 6);

– расчетные значения для регулируемых параметров верхнего уровня $\bar{y}$, представленные в виде составляющих вектора $\bar{g}$ (блок 7).

Информация, приведенная в блоках 2, 5, 6, предназначена для определения наступления события «расчетный момент времени наступил» (блок 8), при котором возникает необходимость в передаче полученной информации о векторе $\bar{g}$ на локальный уровень управления (на уровень подсистем) для перенастройки уставок в подсистемах ВСОТР (содержание блока 8 подробно раскрыто в [4]).

Если расчетный момент времени наступил, т. е. условие в блоке 9 выполняется, то информация о векторе $\bar{g}$ передается с верхнего уровня управления на локальный в виде двух векторов $\bar{g}_1$ и $\bar{g}_2$ (блок 10). При этом информация о векторе $\bar{g}_1$ остается без изменений, а вектор $\bar{g}_2$ трансформируется в моделях локального уровня (блок 11) в вектор $\bar{g}_2^*$, при определении составляющих которого учитываются принятые способы регулирования в подсистемах. Если же расчетный момент времени не наступил, т. е. условие в блоке 9 не выполняется, то верхний и локальный уровни управления функционируют автономно друг от друга.

На локальном уровне задача управления сводится к простому регулированию одновременно в каждой из подсистем одного или нескольких регулируемых параметров. При этом регулирование в подсистемах осуществляется по отклонению $\bar{x}$, где $\bar{x}$ – вектор отклонений регулируемых параметров $\{\bar{y}_1, \bar{y}_2^*\}$ от их расчетных значений $\{\bar{g}_1, \bar{g}_2^*\}$, а все регулируемые параметры $\{\bar{y}_1, \bar{y}_2^*\}$ регулируются одновременно и независимо друг от друга во всех подсистемах ВСОТР.

Результатом решения задачи локального уровня управления является приведение режима функционирования ВСОТР в соответствие с фактическими возмущающими воздействиями $\bar{f}$. При этом фактические параметры воздуха в объекте термостатирования, характеризующиеся точкой $У_{факт}$, будут соответствовать расчетным параметрам, характеризующимся точкой $У_{расч}$.

Система автоматического управления ВСОТР, использующая описанный алгоритм, приобретает свойство приспосабливаться к изменению стохастически действующего фактора $\bar{f}$ путем управления оптимальным режимом функционирования ВСОТР за счет корректировки расчетных значений $\bar{g}$ регулируемых параметров $\bar{y}$.

Разработанный алгоритм оптимизации параметров функционирования конкретных ВСОТР положен в основу методики повышения эффективности функционирования ВСОТР объектов РКК. Она универсальна и может быть применена для оптимизации параметров функционирования других ВСОТР с изменением лишь блока исходных данных.

Внедрение разработанной методики в систему эксплуатации ВСОТР позволит уменьшить величину энергетических затрат при функционировании ВСОТР в среднем на 12–15 %.

Дополнительное уменьшение энергетических затрат может быть получено при дооборудовании ВСОТР теплонакопителями. Однако их использование экономически целесообразно при расходах воздуха $G_{\text{п}}$ от 0,6 кг/с. В этих случаях уменьшение величины энергетических затрат может достигать 42 % (рис. 3).

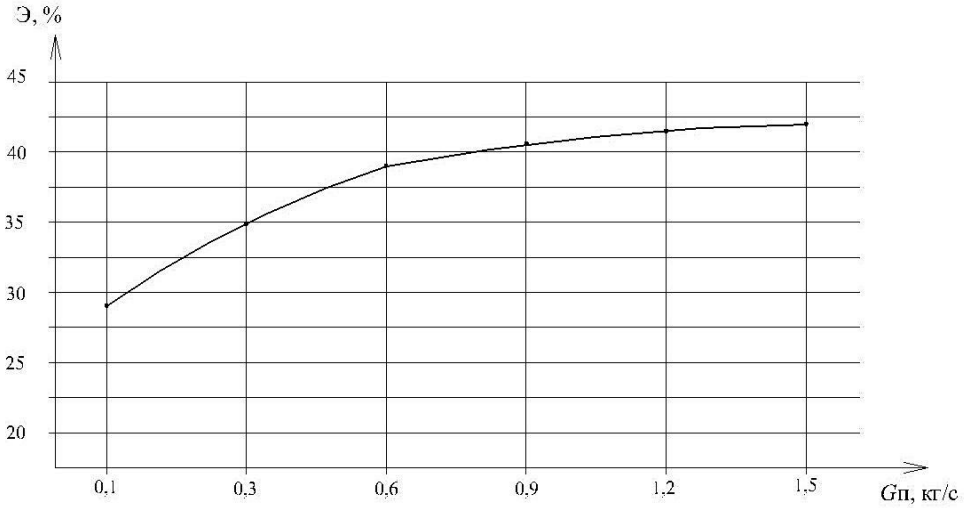


Рис.3. Относительное уменьшение энергетических затрат при внедрении разработанной методики

Результаты оценки экономической эффективности разработанной методики повышения эффективности функционирования ВСОТР объектов РКК показывают целесообразность внедрения данной методики в систему эксплуатации ВСОТР.

Список используемых источников

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Закон Российской Федерации № 261 от 23.11.2009 г. // Российская газета. – 2009. – №5050.

2. О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики: Указ Президента Российской Федерации № 889 от 04.06.2008 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2008. – № 23. – С. 68–71.

3. *Рымкевич А.А.* Основы метода оценки и выбора оптимальных решений систем кондиционирования воздуха. – Л.: ЛТИХП, 1981. – 80 с.

4. *Коченков Н.В.* Энергосберегающие режимы систем кондиционирования воздуха: монография – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2009. – Ч. 1: СКВ, обслуживающие помещения с однохарактерными нагрузками. – 399 с.

А.Г. Басыров,
доктор техн. наук, профессор;
В.В. Широбоков

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКЕ МИКРОСПУТНИКОВ

Рассмотрена проблема повышения автономности орбитальных группировок микроспутников и связанная с ней необходимость наращивания производительности бортовых вычислительных систем космических аппаратов. Предложена модель функционально-распределенных вычислений в орбитальной группировке микроспутников. Проведен анализ зависимости энергозатрат при выполнении вычислений и при передаче данных, а также пропускной способности межспутникового канала связи от расстояния между МС.

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

ВВЕДЕНИЕ

Перспективным направлением в развитии космических средств является создание многоспутниковых орбитальных группировок (ОГ) на базе микроспутников (МС), способных превзойти по эффективности существующие орбитальные группировки из традиционных КА при сравнимой стоимости. Применение МС позволило снизить стоимость запуска и время развертывания орбитальных группировок, а также повысить оперативность наблюдения за поверхностью Земли. Расширение масштабов использования орбитальной группировки микроспутников влечет за собой необходимость повышения автономности их функционирования [1]. Перенос решения ряда задач с наземного комплекса управления (НКУ) на бортовой комплекс управления (БКУ) приводит к необходимости увеличения производительности бортовой вычислительной системы (БВС) КА и совершенствования подходов к построению и организации функционирования ОГ и БКУ КА. Наращивание производительности БВС КА вступает в противоречие с ограничениями по массе, энергозатратам, требованиями по надежности, предъявляемыми к бортовой аппаратуре. При этом наращиваемые ресурсы БВС не будут использованы в полной мере, а будут востребованы лишь на относительно коротких интервалах функционирования КА.

Решением данного противоречия является подход, в основу которого положена технология предоставления информационно-вычислительных ресурсов на основе модели «клиент-сервер» с конфигурацией «тонкий клиент». Данный подход позволяет минимизировать требования к аппаратно-программным ресурсам клиента благодаря переносу части информационно-вычислительной нагрузки на центры обработки данных (ЦОД). При организации ОГ МС в роли «КА-клиента» будет выступать МС, а в роли ЦОД – один или несколько выделенных «КА-серверов» (КАС) с БВС высокой производительности.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ЦЕЛЕВОЙ ЗАДАЧИ МЕЖДУ КА-СЕРВЕРОМ И КА-КЛИЕНТОМ

При организации распределенных вычислений в ОГ МС возникает задача оптимального распределения вычислительной нагрузки между МС (КА α) и КАС (КА β) при ограниченном энергоресурсе бортовых источников питания. Это приводит к необходимости создания модели распределенного выполнения целевой задачи в ОГ (рис. 1), учитывающей состав и характеристики специального программного обеспечения (ПО) Ψ, входные данные $V_{\text{вх}}$,

поступающие на обработку, динамически изменяющееся расстояние d между КА. Распределение вычислительной нагрузки между КА α и КА β заключается в разделении последовательности задач ПО Ψ на два непересекающихся подмножества: задач, выполняемых на КА α, и задач, выполняемых на КА β. Для этого выбирается целое число $1 \le k \le n$, такое, что задачи с номерами 1, 2, …, k будут выполняться на КА α, а задачи с номерами k+1, k+2,…, N будут выполняться на КА β. При этом формируются целевые показатели обработки информации – время T выполнения целевой задачи и энергоресурсы E, затраченные на ее выполнение.

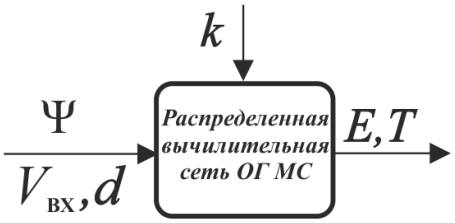


Рис. 1. Абстрактная модель распределенного выполнения целевой задачи

Для выполнения возложенных на КА задач предназначается ПО $\Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n\}$, включающее n подзадач (рис. 2). Каждая подзадача в свою очередь включает $\psi_i = \{S_i, P_i\}$ набор инструкций, состоящий из S_i инструкций данного кода, выполняющихся только последовательно друг за другом на одном ядре процессора БВС, и P_i программно-независимых друг от друга инструкций, которые могут выполняться одновременно на нескольких ядрах процессора БВС.

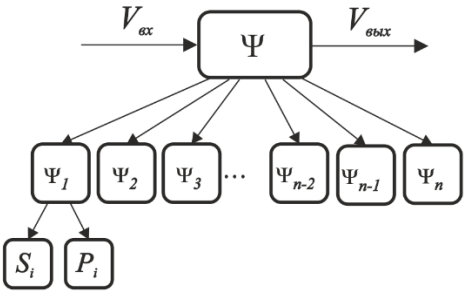


Рис. 2. Структура целевой задачи

Входными данными (рис. 3) для ПО Ψ является информация $V_{вх}$ объемом v_1, поступающая с входных устройств, установленных на КА в соответствии с его предназначением, а выходными данными $V_{вых}$ объемом v_{n+1} является результат выполнения программы Ψ, который затем передается на средства наземного комплекса управления (НКУ). При этом должно выполняться следующее условие:

$$\left(\sum_{i=1}^{k} v_i + p_\alpha\right) \le W_\alpha \cap \left(\sum_{i=k^*+1}^{n} v_i + p_\beta\right) \le W_\beta, \qquad (1)$$

где W_α, W_β – объем памяти на КА α или β соответственно;

p_α, p_β – объем памяти, занимаемой программами на КА α или β соответственно.

Объем памяти программ p_α, p_β определяется по формулам:

$$p_\alpha = \sum_{i=1}^{k} p_i ; \tag{2}$$

$$p_\beta = \sum_{i=k+1}^{n} p_i . \tag{3}$$

Здесь p_i – объем, памяти занимаемый программой для выполнения i-й подзадачи на борту КА α или β, который может быть найден по формуле

$$p_i = (S_i + P_i)y, \tag{4}$$

где y – размер одной инструкции (байт);
S_i, P_i – количество инструкций программного кода, составляющих подзадачу ψ_i.

При расчете объема памяти, занимаемой программой для выполнения последовательности подзадач на БВС КА α или β, должно выполняться условие (1).

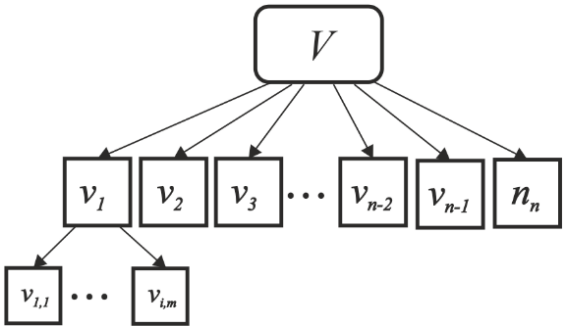


Рис. 3. Входные данные для выполнения подзадачи

В зависимости от предназначения КА входной информацией могут служить:

– фотоснимки местности, полученные с оптического устройства, установленного на МС;

– данные о радиообстановке в районе наблюдения КА, полученные с радиотехнических средств, установленных на МС.

Общая схема выполнения программы на БВС одного КА показана на рис. 4.

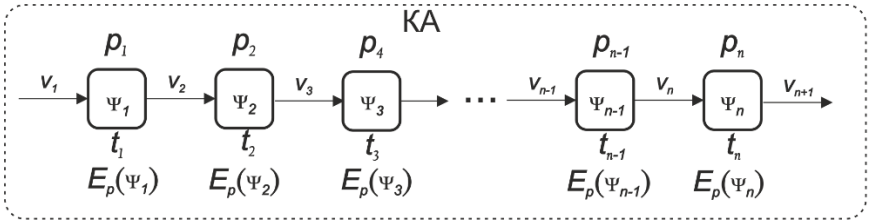


Рис. 4. Схема выполнения задачи на одном КА

Сложные алгоритмы обработки данных требуют наличия высокопроизводительной БВС и приемлемого бортового энергоресурса для обеспечения вычислительного процесса. Ограничение по масса-габаритным характеристикам МС не позволяет устанавливать на него высокопроизводительную БВС и мощную систему бортового энергообеспечения. Кроме того, при выполнении сложных вычислительных алгоритмов на БВС МС уменьшается

ресурс системы бортового энергообеспечения, который в основном и определяет срок активного существования МС. Для большинства КА после истечения гарантийного срока активного существования характеристики системы энергопитания значительно ухудшаются, и КА используется с ограничениями по целевому назначению.

Перенос обработки части подзадач с борта КА α на борт более тяжелого КА β позволит уменьшить нагрузку на бортовую систему электроснабжения КА. Это можно выполнить по технологии предоставления информационно-вычислительных ресурсов на основе модели «клиент-сервер» с конфигурацией «тонкий клиент» (рис. 5).

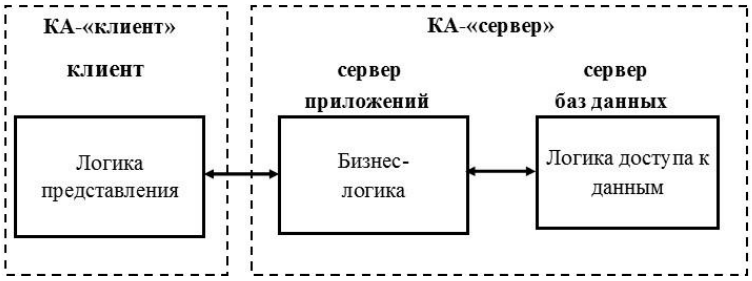


Рис. 5. Модель «клиент-сервер» с конфигурацией «тонкий клиент»

Перенос части вычислений с борта КА α на борт КА β разделяет выполнение программы на две части. Первая часть подзадач $\psi_i, i \in (1, \dots, k)$ выполняется на БВС КА α до момента окончания выполнения k-й подзадачи, затем результат выполнения k-й подзадачи передается по каналу связи на БВС КА β и продолжается обработка подзадач ψ_i, $i = k+1, \dots, n$. После обработки данных в БВС КА β результат передается на НКУ. Схема распределенной обработки программы в БВС КА α и БВС КА β показана на рис. 6, где p_i – объем памяти, занимаемый программой для выполнения i-й подзадачи на борту КА; t_i – длительность монопольного решения i-й подзадачи на борту КА при входных данных v_i; $E_p(\psi_i)$ – потребляемая процессором БВС КА мощность при выполнения i-й подзадачи.

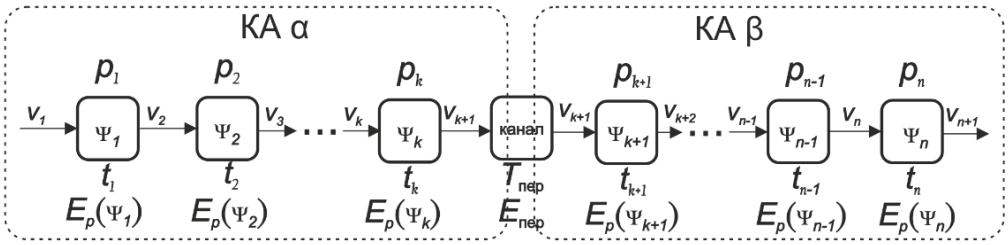


Рис. 6. Схема выполнения задачи на КА α и КА β

Цель организации распределенной обработки информации между двумя КА заключается в минимизации времени выполнения целевых задач при ограничениях на объем памяти БВС и на энергоресурс бортовых источников питания.

Формально постановку задачи с учетом условия (1) можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} k^* = \arg\min T(k, d, V, \Psi, L); \\ \left(\sum_{i=1}^{k^*} v_i + p_\alpha\right) \le W_\alpha; \\ \left(\sum_{i=k^*+1}^{n} v_i + p_\beta\right) \le W_\beta; \\ E\left(k^*, d, T, P_{pow}, P_{\text{пер}}\right) \le E_{\text{тр}}, \end{cases} \quad (5)$$

где k – наибольший номер задачи, выполняемой на КА α;
T – время решения целевой задачи;
d – расстояние между КА α и КА β;
V – массив входных данных для выполнения каждой подзадачи;
Ψ – специальное программного обеспечение;
L – количество инструкций, выполняемых процессором в единицу времени;
W_α, W_β – объем памяти на КА α или β соответственно;
P_{pow} – потребляемая мощность процессором;
$P_{\text{пер}}$ – потребляемая мощность приемо-передающей аппаратуры.

Так как временные и энергетические ресурсы складываются из затрат на обработку информации и на ее передачу между двумя КА, для решения поставленной задачи необходимо найти следующее:

– время выполнения целевой задачи и затраченного суммарного количества энергии на ее выполнение;
– пропускную способность межспутникового канала связи;
– количество энергии, потребляемой бортовой вычислительной системой при выполнении набора инструкций;
– количество потребляемой энергии при передаче данных.

РАСЧЕТ ВРЕМЕННЫХ ЗАТРАТ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ЗАДАЧИ

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

$$T = T_\alpha + T_\beta + T_{\text{пер}}, \quad (6)$$

где T_α – время выполнения последовательности подзадач на КА α;
T_β – время выполнения последовательности подзадач на КА β;
$T_{\text{пер}}$ – время передачи данных по межспутниковому каналу связи между КА α и β.

Время выполнения одной последовательности подзадач на КА α определяется по формуле

$$T_\alpha = \sum_{i=1}^{k} t_i\,(\psi_i), \quad (7)$$

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

Время выполнения одной последовательности подзадач на КА β определяется по формуле

$$T_\beta = \sum_{i=k+1}^{n} t_i(\psi_i), \quad (8)$$

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

РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МЕЖСПУТНИКОВОГО КАНАЛА СВЯЗИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ

Зависимость меры пропускной способности от помех в радиоканале определяется следующим образом [2]:

$$C = \frac{P_{\text{пер}} G S_{\text{эф}} \eta_{\text{пр}} \eta_{\text{пер}} L \log_2\left(1 + \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}}\right)}{d^2 4\pi w \left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}}\right)}, \quad (9)$$

где d – расстояние между КА α и КА β;
G – коэффициент направленности передающей антенны;
$P_{\text{пер}}$ – мощность передатчика;
$S_{\text{эф}}$ – эффективная площадь антенны;
w – коэффициент пропорциональности мощности шумов к ширине полосы пропускания;
$P_{\text{с}}/P_{\text{ш}}$ – отношение мощности сигнала к мощности помех;
$\eta_{\text{пр}}, \eta_{\text{пер}}$ – коэффициенты полезного действия приемного и передающего антенно-фидерных трактов;
L – потери, вызванные затуханием энергии сигнала в свободном пространстве, ионизацией верхних слоев атмосферы, шумом в приемных трактах линий межспутниковой связи, неточностью наведения антенн, вращением плоскости поляризации и другими факторами.

Пропускная способность канала будет снижаться пропорционально информационной нагрузке абонентов. При этом возможны два варианта временного разделения абонентов:

– фиксированное разделение пропорционально количеству абонентов q и информационной нагрузке отдельных абонентов;

– случайный множественный доступ абонентов.

При расчете пропускной способности межспутникового канала связи следует учитывать невысокую мощность установленного на МС приемо-передающего оборудования, обусловленную ограничениями, вносимыми системой электропитания и масса-габаритными характеристиками МС.

При фиксированном разделении интенсивности информационного трафика в канале на q абонентов эффективная пропускная способность канала, выделяемая каждому абоненту, составит

$$C_q = \frac{C}{q}. \quad (10)$$

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ НА ВЫЧИСЛЕНИЯ

Суммарный энергоресурс, затраченный на выполнение ПО Ψ, с учетом энергии $E_{\text{пер}}(v_{k+1})$, затраченной на передачу выходных данных v_{k+1} k-й подзадачи по каналу связи «космос–космос», определяется следующим выражением:

$$E = \sum_{i=1}^{k} E_p(\psi_i) + E_{\text{пер}}(v_{k+1}) + \sum_{i=k+1}^{n} E_p(\psi_i). \quad (11)$$

Время выполнения одной i-й подзадачи на одноядерном процессоре (z=1) в БВС КА при входных данных v_i и условии $\langle v_{i,j}, \psi_i \rangle$ составит:

$$t_i(\psi_i) = \frac{S_i + P_i}{L}, \quad (12)$$

где S_i, P_i – количество инструкций программного кода, составляющих подзадачу ψ_i, $i \in \{1, \dots, n\}$, L – количество инструкций, выполняемых процессором в единицу времени.

Количество инструкций, выполняемых за такт, зависит от микроархитектуры процессора, напряжения питания, а также от технологии производства, определяющей минимальные размеры используемых транзисторов, их быстродействие и время задержки передачи сигнала в межуровневых соединениях.

В случае использования многоядерного процессора БВС, число ядер которого равно z, время выполнения одной i-й подзадачи окажется меньше за счет параллельного выполнения ψ_i команд на разных ядрах процессора и составит

$$t_i(\psi_i) = \frac{S_i}{L} + \frac{P_i}{z \cdot L}, \quad (13)$$

где z – количеством ядер в многоядерном процессоре БВС;

S_i – число инструкций этого кода, выполняющееся только последовательно друг за другом;

P_i – количество инструкций, являющихся программно-независимыми друг от друга и способных выполняться одновременно на всех ядрах процессора.

Зависимость потребляемой процессором мощности от его тактовой частоты можно представить следующей формулой [3]:

$$P_{pow} = CU^2 f, \quad (14)$$

где f – тактовая частота процессора;

U – напряжение питания процессора;

C – динамическая емкость, определяемая микроархитектурой процессора, количеством транзисторов в микросхеме и их активностью переключения.

Учитывая, что тактовая частота обусловлена напряжением питания процессора, потребляемая мощность нелинейным образом зависит от частоты процессора. Соответственно получаем нелинейную связь между производительностью процессора и потребляемой им мощностью.

Следовательно, количество энергии, затраченной на выполнение набора инструкций ψ_i в i-й подзадаче на БВС КА, определяется по формуле

$$E_p(\psi_i) = P_{pow} \cdot t_i(\psi_i), \quad (15)$$

где P_{pow} – потребляемая процессором мощность БВС КА.

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ МЕЖДУ КА

Время передачи данных по межспутниковому каналу связи между КА α и β определяется по формуле

$$T_{\text{пер}} = \frac{V_{\alpha\beta}}{C} + \frac{d}{c}, \quad (16)$$

где $V_{\alpha\beta}$ – объем межспутникового трафика;

C – пропускная способность канала связи между КА α и β;

d – расстояние между КА α и β;

c – константа, c = 299 792 458 м/с.

Энергия, затраченная для передачи данных по межспутниковому каналу связи между КА α и β определяется по формуле

$$E_{\text{пер}} = T_{\text{пер}} P_{\text{ппа}}, \quad (17)$$

где $P_{\text{ппа}}$ – потребляемая мощность приемо-передающей аппаратуры.

Таким образом, с учетом выражений (6), (11) время функционально-распределенных вычислений в орбитальной группировке микроспутников может быть представлено в следующем виде:

$$T = \frac{1}{L}\left(\sum_{i=1}^{k}\left(S_i + \frac{P_i}{z}\right) + \sum_{i=k+1}^{n}\left(S_i + \frac{P_i}{z}\right)\right) + \frac{V_{\alpha\beta}}{C} + \frac{d}{c}, \quad (18)$$

а затраты энергоресурса:

$$E = \frac{P_{pow}}{L}\left(\sum_{i=1}^{k}\left(S_i + \frac{P_i}{z}\right) + \sum_{i=k+1}^{n}\left(S_i + \frac{P_i}{z}\right)\right) + P_{\text{пер}}\left(\frac{V_{\alpha\beta}}{C} + \frac{d}{c}\right). \quad (19)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предложенной модели функционально-распределенных вычислений в орбитальной группировке микроспутников учитывается время выполнения набора инструкций, затраты энергоресурса бортовых источников питания КА, требуемый объем памяти БВС с учетом пропускной способности межспутникового канала связи и расстояния между КА.

Передовые спутниковые коммуникационные технологии способны обеспечить высокоскоростной обмен информацией по межспутниковым каналам связи в мобильной вычислительной сети, а современные технологии программирования и построения распределенных вычислительных сервисов позволяют организовать управляемую, масштабируемую высокопроизводительную систему. Применение предложенной модели позволяет организовать вычислительный процесс с предоставлением вычислительных ресурсов БВС КА-сервера «по запросу» микроспутника.

Список используемых источников

1. *Фатеев В.Ф.* Инфраструктура малых космических аппаратов – М.: Радиотехника, 2011. – 432 с.

2. *Невзоров Ю.В, Козак О.И., Васильев О.В.* Факторы, влияющие на скорость передачи информации по космической радиолинии: развитие систем СВЧ радиосвязи // Электросвязь : научно-технический журнал по проводной и радиосвязи, телевидению, радиовещанию. – 2012. – №8. – С. 29–31.

3. *Пахомов С.* Эра многоядерных энергоэффективных процессоров. – URL: http://compress.ru/Article.aspx?id=16962 (дата обращения: 01.05.2015).

Р.А. Гудаев;
Р.В. Катюха;
С.В. Логунов;
Д.А. Рогов,
кандидат техн. наук, доцент

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ, ПОЛУЧАЕМОЙ ОТ СРЕДСТВ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ, ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Предложена структурная схема распознавания космических аппаратов на основе анализа радиотехнической информации и внедрения системы самообучения. Предполагается, что предлагаемая система позволит повысить вероятность достоверного распознавания космических аппаратов.

Ключевые слова: кибернетика, распознавание, системы с обучением, космические аппараты.

Появление комплексов радиотехнического контроля обеспечило получение качественно нового вида информации, ранее не использовавшейся для решения задач распознавания космических аппаратов. На современном этапе определение класса космического аппарата (КА) производится на основании анализа оптической и радиолокационной информации. Однако в ряде случаев требуемое значение вероятности распознавания как системного показателя не может быть достигнуто в связи с различными ограничениями, накладываемыми на процесс получения данных. Так, область применения радиолокационных станций ограничена «ближним космосом», а на возможности проведения измерений оптико-электронными комплексами существенное влияние оказывают геофизические и климатические условия. Исходя из этого использование радиотехнических комплексов в определенных условиях может существенно повысить качество и оперативность решения задачи распознавания КА. Анализ существующего научно-методического аппарата показал, что на данный момент отсутствуют методики, позволяющие обрабатывать радиотехнические сигнатуры в интересах решения задач распознавания КА. В данной статье рассмотрена система распознавания на основе анализа излученных бортовыми антеннами электромагнитных волн.

Система распознавания космических аппаратов строится на основе общих принципов, рассмотренных в трудах А.Л. Горелика [2]. Согласно теории распознавания на начальном этапе необходимо определить полный перечень радиотехнических признаков, которые однозначно характеризуют объекты распознавания – космические аппараты.

Анализ радиотехнических сигнатур показал, что в качестве радиотехнических признаков могут быть использованы следующие параметры электромагнитных волн, излучаемых аппаратурой КА:

- центральная частота,
- форма спектра,
- суммарная мощность,
- поляризация.

Кроме того, на основании анализа полученной информации можно будет выдвинуть гипотезу о конфигурации антенны, характере движения аппарата относительно центра масс, а также режиме работы бортовой радиоаппаратуры и видах передаваемой информации. Исследование сигнатур КА в радиодиапазоне позволит сделать вывод о том, что распознаваемый объект может быть однозначно описан набором детерминированных и логических признаков. В качестве детерминированных признаков предполагается использовать радиотехнические параметры, принимающие конкретные числовые значения, а в качестве логических –

элементы высказывания, принимающие два значения истинности («да», «нет» или «истина», «ложь») с полной определенностью. Помимо указанных элементов к ним можно отнести признаки, числовое значение которых принадлежит к определенному интервалу.

Консервативность построения передающей аппаратуры и режимов излучения КА, а также их серийность являются отличительными чертами большинства космических аппаратов, что, в свою очередь, является основным аргументом в пользу применения методов определения признаков, поскольку для распознавания космических аппаратов целесообразно использовать свойство различимости и повторяемости выявленных признаков [3].

Известно, что в многоуровневых физических сложных системах апостериорная информация о признаках распознаваемых объектов определяется на основе косвенных измерений, для которых используются специализированные распознающие системы. Очевидно, что для принятия решения об отнесении того или иного КА к одному из классов необходимо обработать разнородную информацию – различные излучения, режимы работы и физические свойства антенной системы. Предлагаемая система распознавания окажется сложной и будет иметь многоуровневую структуру, благодаря чему сможет обеспечивать признаками распознавания более высокого порядка, обладающими сравнительно большей информативностью [2].

Исходя из принципов построения любой системы распознавания необходимо провести первоначальную классификацию распознаваемых объектов и составить рабочий словарь признаков, в который будут входить именно те признаки, которые можно получить только с помощью средств радиотехнического контроля.

Для того чтобы провести разбиение пространства признаков на области, соответствующие классам алфавита, необходимо описать их на языке рабочего словаря признаков. При этом целесообразно использовать методы непосредственной обработки данных и принципы обучения системы распознавания. Основываясь на полученных результатах, выбирается алгоритм распознавания, обеспечивающий отнесение распознаваемого объекта или явления к тому или другому классу.

Анализ радиотехнических сигнатур КА показал, что для достижения заданного показателя вероятности правильного распознавания в ходе процесса распознавания будет недостаточно применения признаков, полученных в ходе непосредственных измерений. Очевидна необходимость использования более информативных признаков, которые можно получить в блоках обработки.

Например, для определения типа антенны необходимо знать параметры диаграммы направленности, которую можно восстановить, используя соответствующие методы обработки радиотехнических сигнатур КА. Для этих целей планируется использование принципа взаимности [1], применение метода вейвлет-Галеркина и измерение амплитуды электромагнитного излучения бортовой аппаратуры.

О режиме функционирования и типе передаваемой информации можно судить по набору характеристик и таких свойств, как модуляция сигнала, тип диаграммы направленности и спектр излучения.

Гипотезу о характере движения аппарата относительно центра масс возможно выдвинуть на основе априорных данных и выявления периодичностей изменения характеристик сигнатур в радиодиапазоне, а также в зависимости от влияния конструкции КА и ее пространственного положения относительно точки наблюдения.

В последнее время появилась возможность измерения спектра радиосигнала в «цифровой форме», что в значительной степени облегчает процесс отождествления и его использование в качестве радиотехнического признака при решении задач распознавания КА.

Целесообразно постоянно дополнять систему новыми блоками обработки и анализа, ответственными за получение признаков более высокого порядка, обладающих большей информативностью.

Информативность определяется исходя из сравнения признаков одной категории, например спектра. Если параметры признака характерны для меньшего числа классов или подклассов КА, то уместно говорить о том, что он обладает большей информативностью. Под *признаком более высокого порядка* понимается признак, получаемый косвенным образом на основе обработки и анализа измеренной информации.

Полученные признаки сравниваются с уже имеющимися в рабочем словаре. Сопоставление производится по определенному алгоритму, который вычисляет величину корреляции и сравнивает ее со значением в соответствующем пороговом устройстве, в результате чего принимается решение [4] о принадлежности КА к одному из классов.

Определение класса КА производится в соответствии с выбранным правилом. Каждый класс космических аппаратов в своем роде уникален и имеет как вполне ординарные признаки, так и весьма специфичные, характерные только для него. Ускорение процесса распознавания возможно за счет оптимизации времени, затрачиваемого на процесс вычисления. Иными словами, алгоритм предусматривает проведение расчетов только для формирования наиболее информативных признаков, так как их вычисление будет достаточно для принятия решения о принадлежности к классу «ОН».

При наличии необходимой информации для формирования указанных признаков алгоритм распределяет приоритетность выполнения расчетов так, чтобы данные признаки были получены в первую очередь. Далее проводятся расчеты с присвоением каждому признаку соответствующего весового коэффициента, который определяется методом экспертной оценки или в процессе обучения.

Процесс обучения реализуется посредством многократного представления системе распознавания обучающих объектов всех выделенных классов и указания, к каким классам они принадлежат. Затем проводится корректировка ее ответов и уточнение весовых коэффициентов до тех пор, пока количество ошибок в среднем не достигнет желаемого уровня. Первоначально весовые коэффициенты необходимо назначить исходя из информативности признаков, в зависимости от того вклада, который для повышения вероятности правильного распознавания вносит каждый из них.

Введение весовых коэффициентов обеспечивает повышение точности определения класса и снижает вероятность ошибки [5]. Так, наличие одного признака, который может быть характерен для нескольких классов, будет иметь меньший весовой коэффициент, чем наличие признака, характерного для меньшего числа классов.

Принятие решения об отнесении объекта распознавания к тому или иному классу производится в решающем устройстве на основе обработки матрицы взвешенных оценок. Матрица содержит значения, полученные в процессе перемножения весовых коэффициентов и коэффициентов корреляции, полученных в блоках алгоритмов распознавания.

Работу рассматриваемой системы распознавания иллюстрирует рис. 1. Технические средства измерений обеспечивают систему распознавания необходимой информацией, часть которой отправляется на блоки обработки, где преобразовывается в признаки более высокого порядка. В блоках алгоритмов распознавания происходит сопоставление полученных признаков с уже имеющимися в словаре. Результатом сравнения будет некоторое число, характеризующее степень корреляции между сравниваемыми признаками. Данное значение умножается на соответствующий весовой коэффициент, который отражает степень информативности того или иного признака. В решающем устройстве вычисляется суммарное значение взвешенных оценок. В случае, если оно превысило порог, признаки удовлетворяют условиям распознаваемого класса, то принимается решение о принадлежности КА к определенному классу.

Пунктирные линии иллюстрируют процесс ускорения вычислений. Алгоритм (при условии получения необходимой информации) предусматривает возможность перераспределения процесса обработки и формирования признаков более высокого порядка, наличия которых

достаточно для принятия решения. Последующие вычисления носят характер уточнения и повышения достоверности.

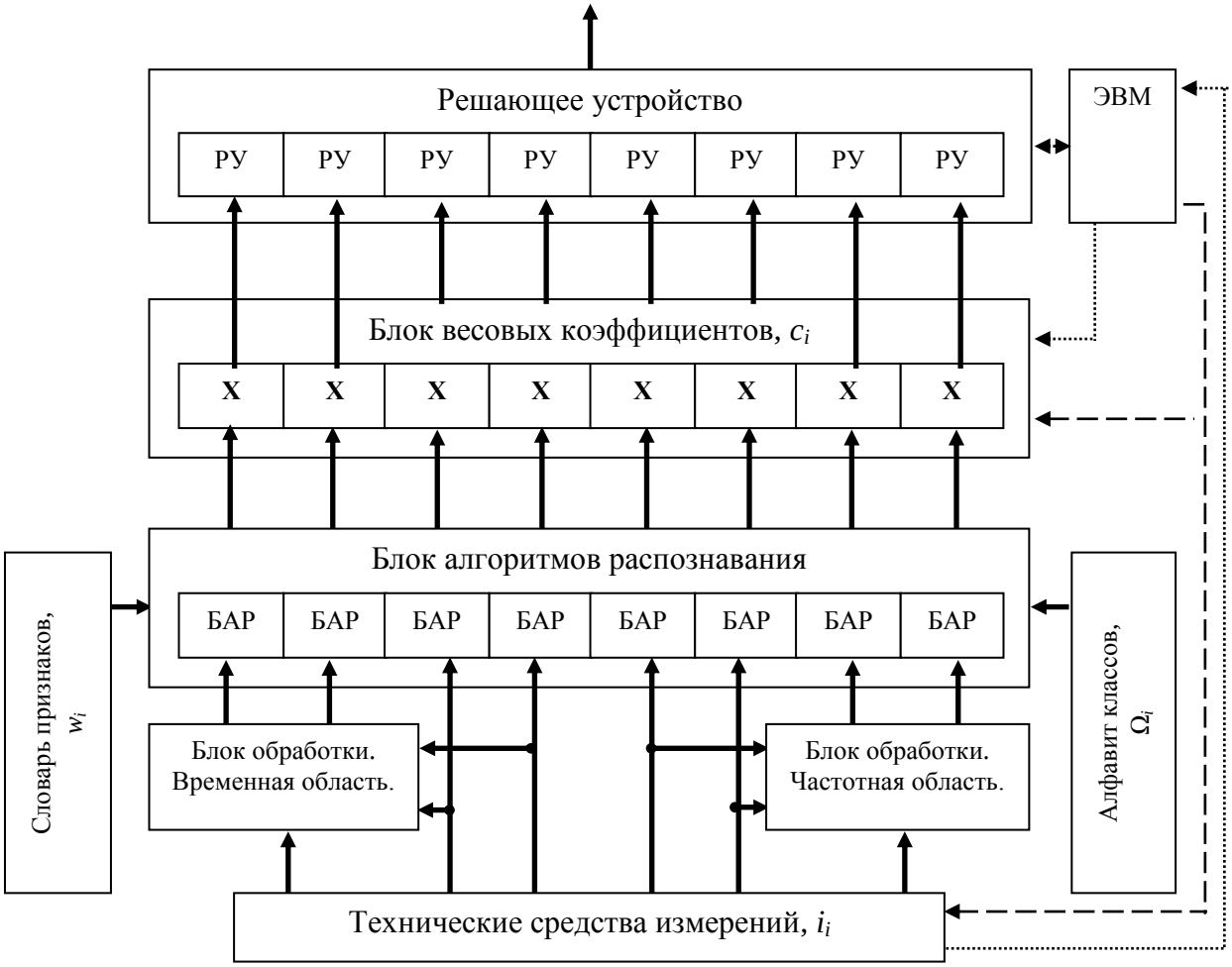


Рис. 1. Схема системы распознавания КА на основе анализа РТИ с обучением:
пунктирные линии – режим ускорения вычислений;
штрихованные линии – режим обучения;
сплошные линии – «экзамен»

Штрихованные линии отражают процесс обучения, когда в соответствии с алгоритмом через систему распознавания проходят измерения, полученные от заведомо известного космического аппарата.

Данный объект может быть реальной или имитированной целью. В первом случае проверяется вся система, включая средства измерений, во втором – только сегмент распознавания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в трудах [2, 4, 5] исследования, подтверждают, что вероятность правильного распознавания зависит от количества используемых в процессе распознавания признаков. Таким образом, предложенная структурная схема системы распознавания космических аппаратов позволяет обеспечить повышение вероятности их распознавания.

Список используемых источников

1. *Гольдштейн Л.Д., Зернов Н.В.* Электромагнитные поля и волны.– М.: Советское радио, 1971. – 664 с.

2. *Горелик А.Л., Гуревич И.Б. Скрипкин В.А.* Современное состояние проблемы распознавания. – М.: Радио и связь, 1985. – 160 с.

3. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В.С. Верба, Л.Б. Неронский, И.Г. Осипов, В.Е. Турук. – М.: Радиотехника, 2010. – 675 с.

4. *Загоруйко Н.Г.* Методы распознавания и их применение. – М. Советское радио, 1972. – 208 с.

5. *Журавлев Ю.И.* Распознавание, классификация, прогноз. Математические методы и их применение. – М.: Наука, 1992. – 320 с.

С.М. Дарвейш;
А.Н. Добролюбов,
кандидат техн. наук;
Е.Л. Лебедев,
доктор техн. наук, доцент;
Н.С. Самойлов,
доктор техн. наук, профессор

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АЛЮМИНИЯ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СТАЛЕЙ

В работе рассматриваются вопросы влияния содержания алюминия на коррозионную стойкость сталей. Описана методика проведения эксперимента и его результаты. Определена зависимость значения массового показателя скорости коррозии от содержания алюминия в стали.

Ключевые слова: коррозия металлов и сплавов, химическая коррозия, электрохимическая коррозия, коррозионная стойкость.

Коррозия металлов и сплавов в зависимости от условий, при которых протекает коррозионный процесс, может носить химический или электрохимический характер.

Химическая коррозия – это взаимодействие металла с коррозионной средой, при котором окисление металла и восстановление окислительной компоненты коррозионной среды протекают в одном акте. Этот вид разрушения имеет место при взаимодействии металла или сплава с кислотами, газами и т. д. Образующиеся при этом вещества называются продуктами коррозии [1].

Если продукты коррозии способны создать на поверхности металлической детали плотную и прочную защитную пленку, то коррозия металла замедляется или практически прекращается. При этом металл переходит в так называемое пассивное состояние.

Пассивность металлов наблюдается обычно в окислительных средах, например в азотной кислоте, и не проявляется в активных средах, например в соляной и серной кислотах. Пассивность металлов и сплавов в азотной кислоте зависит от их природы или химического состава и от концентрации кислоты. В концентрированной азотной кислоте хорошо пассивируются хром, алюминий, однофазные алюминиевые сплавы, железо, хромоникелевые нержавеющие стали и другие металлы и сплавы.

Алюминий и однофазные сплавы на его основе, например АМг6, АМг3 и другие, обладают высокой стойкостью против коррозии в окислительных средах. Это объясняется образованием на их поверхности плотной защитной окисной пленки. Защитные свойства пленки зависят от концентрации окислителя. Например, при повышении концентрации азотной кислоты вначале скорость коррозии алюминия увеличивается, так как возрастает растворимость защитной пленки. При дальнейшем повышении концентрации кислоты окислительная способность раствора становится больше, при этом стабильность пленки растет, растворимость уменьшается и, как следствие, скорость коррозии алюминия понижается.

Малоуглеродистая сталь, например, марки 10 при воздействии на нее концентрированной азотной кислоты не пассивируется. На ее поверхности образуется неплотная рыхлая пленка, неспособная защищать сталь от коррозии.

Электрохимическая коррозия – это взаимодействие металла с коррозионной средой (раствором электролита), при котором ионизация атомов металла и восстановление окислительной компоненты коррозионной среды протекают не в одном акте, и их скорости зависят от электродного потенциала [1].

В основе процесса электрохимической коррозии лежит образование гальванических элементов или так называемых гальванических пар. В гальваническом элементе благодаря взаимодействию двух разнородных металлов с раствором электролита один из металлов имеет более отрицательный потенциал и является анодом, второй – более положительный и является катодом. Знак и значение электродного потенциала позволяют судить о коррозионной стойкости металла. Чем ниже потенциал металла в данной коррозионной среде, тем интенсивнее его разрушение в паре с более электроположительным металлом. Металлы, имеющие положительный электродный потенциал, наоборот, обладают стойкостью против электрохимической коррозии, и тем большей, чем более высок их электродный потенциал.

При изучении процессов электрохимической коррозии, как правило, приходится иметь дело с неравновесными потенциалами металлов. При этом наиболее часто в качестве коррозионной среды используется 3%-й раствор NaCl, близкий по составу к морской воде и содержащий агрессивный ион хлора. В табл. 1 приведены значения потенциалов наиболее важных металлов в 3%-м растворе NaCl [3].

Таблица 1

Потенциал металлов в 3%-м растворе NaCl при 15° С

Металл	Электродный потенциал		Металл	Электродный потенциал	
	через 5 мин	через 10 мин		через 5 мин	через10 мин
Серебро	+0,24	+0,20	Железо	-0,34	-0,50
Медь	+0,02	+0,05	Кадмий	-0,58	-0,52
Хром	-0,02	+0,23	Алюминий	-0,63	-0,63
Никель	-0,13	-0,02	Цинк	-0,83	-0,83
Олово	-0,25	-0,25	Магний	-1,45	-1,45

О скорости коррозии анода можно судить не только по значению ЭДС гальванического элемента, но также и по значению коррозионного тока.

Как правило, интенсивность коррозионного разрушения металлов и сплавов оценивается по значению удельной потери массы или, наоборот, по увеличению массы образца, выраженного в граммах на квадратный метр поверхности в час.

В данной работе экспериментальному исследованию предшествовали изучение и анализ ранее опубликованных трудов [1–5].

Испытания углеродистых сталей с различным содержанием алюминия на коррозионную стойкость проводились с использованием установки, схема которой показана на рис. 1.

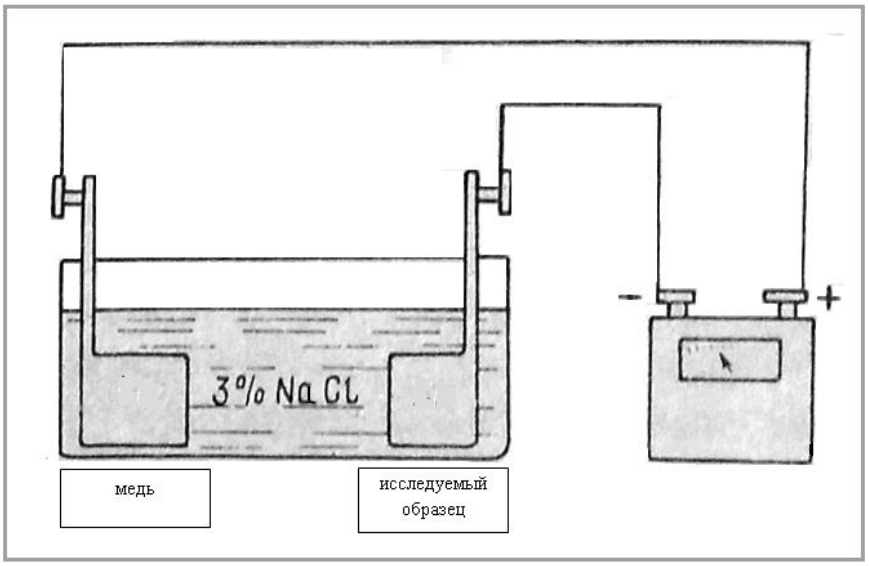


Рис. 1. Схема установки для определения влияния количества Al на массовый показатель скорости коррозии К

Значение проникновения коррозии подсчитывалось в соответствии с ГОСТ [6].

При выполнении исследования проводились перечисленные ниже операции.

1. Измерение образца и подсчет площади поверхности его в метрах квадратных.

2. Взвешивание образца на аналитических весах с точностью до 0,01 миллиграмма.

3. Загрузка образца в фарфоровый или стеклянный сосуд, содержащий 3%-й раствор поваренной соли в воде. При загрузке образцы подвешивались за край сосуда на алюминиевой проволоке.

4. Выдержка образца в растворе в течение заданного времени (30 мин).

5. Извлечение образца, промывка его в горячей воде и высушивание фильтровальной бумагой.

6. Вторичное взвешивание образца с той же точностью и определение изменения его массы. В процессе эксперимента выявлено уменьшение массы образца за счет растворения его в электролите.

7. Подсчет удельного изменения массы (скорости коррозии) проводился по формуле

$$K = \Delta m / S\tau,$$

где K – удельное изменение (уменьшение) массы или скорость коррозии, г/м^2 ч;

Δm – общее уменьшение массы образца за период испытания, г;

S – площадь поверхности образца, м^2;

τ – продолжительность испытания, ч.

При проведении эксперимента необходимо было соблюсти однородность условий притока кислорода за счет диффузии его из атмосферы, что достигалось одинаковой высотой медного катода. Кроме того, для сохранения постоянного сопротивления во внутренней цепи гальванического элемента расстояние между электродами необходимо было поддерживать одинаковым.

Результаты экспериментов представлены в табл. 2, 3 и 4 и на рис. 2.

Таблица 2

Результаты первого эксперимента

Номер образца	S анода, см^2	S катода, см^2	m_1, г	m_2, г	Δm, г	$I_{макс}$, mA	$I_{мин}$, mA	τ, мин	$K_1 = \Delta m/S\tau$ (г/м^2 ч) (массовый показатель скорости коррозии)
1	10,628	200	7,1474	7,1442	0,0032	15	5	30	6,021
2	12,063	200	8,5855	5,5825	0,0030	15	5	30	4,973
3	11,621	200	9,4313	9,4282	0,0031	20	5	30	5,335
4	10,669	200	7,4046	7,4010	0,0036	20	5	30	6,330

Таблица 3

Результаты второго эксперимента

Номер образца	S анода, см^2	S като-да, см^2	m_1, г	m_2, г	Δm, г	$I_{макс}$, mA	$I_{мин}$, mA	τ, мин	$K_2 = \Delta m/ S\tau$ (г/м^2 ч) (массовый показатель скорости коррозии)
1	10,628	200	7,1218	7,1188	0,0030	15	4	30	5,645
2	12,063	200	8,5581	8,5550	0,0031	15	4	30	5,139
3	11,621	200	9,4153	9,4121	0,0032	21	4	30	5,507
4	10,669	200	7,4046	7,3785	0,0261	21	4	30	4,580

Таблица 4

Результаты третьего эксперимента

Номер образца	S анода, см^2	S катода, см^2	m_1, г	m_2, г	Δm, г	$I_{макс}$, mA	$I_{мин}$, mA	τ, мин	$K_3 = \Delta m / S\tau$ (г/м^2 ч) (массовый показатель скорости коррозии)
1	10,628	200	7,1100	7,1068	0,0032	19	4	30	6,021
2	12,063	200	8,5417	8,5386	0,0031	19	4	30	5,139
3	11,621	200	9,4043	9,4011	0,0032	23	4	30	5,507
4	10,669	200	7,3683	7,3649	0,0034	23	4	30	6,00

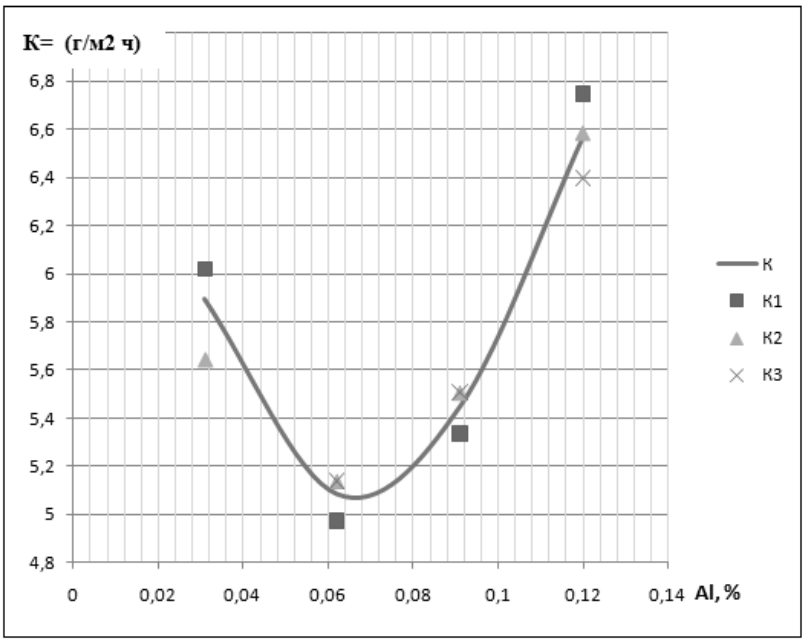


Рис. 2. Зависимость значения массового показателя скорости коррозии от содержания в стали алюминия

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характер кривой, изображенной на рис. 2, может объясняться следующим образом. При минимальной добавке Al (0,031 %) растворяются химические соединения, ранее образовавшиеся на поверхности образцов. С увеличением содержания Al создаются условия для образования твердого раствора Al в Fe, более стойкого в данной среде, и потом, предположительно, образуются и выделяются химические соединения типа $CuAl_2$ и AlN, что приводит к увеличению неоднородности структуры, приводящей к возникновению электрохимической коррозии, которая возрастает с увеличением содержания Al.

Список используемых источников

1. *Г.М. Завьялова, Н.С. Самойлов.* Руководство к лабораторным работам по специальным материалам. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1985. – 139 с.

2. *Науменко В.В.* Влияние азота и кремния на механические и коррозионные свойства низкоуглеродистой аустенитной стали для применения в сильноокислительных средах: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М., 2012.

3. Металлы и сплавы: справочник. – СПб.: НПО «Профессионал», 2003. – 1066 с.

4. *Шкатов В.В.* Моделирование фазовых и структурных превращений при термической обработке проката из раскисленных алюминием низкоуглеродистых сталей: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Липецк, 2007.

5. *Захарова Е.Г.* Влияние алюминия на механизмы деформации, деформационное упрочнение и разрушение высокопрочных монокристаллов стали Гадфильда: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Томск, 2005.

6. ГОСТ 9.908-85 Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости. – М.: Госстандарт, 1986.

В.А. Кулганов,
доктор медицинских наук, профессор;
П.Р. Гильванов,
кандидат техн. наук, доцент

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ОПЕРАТОРОВ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ

Результаты операторской работы за пультом управления свидетельствуют об ухудшении показателей работоспособности в процессе моделирования экстремальных условий деятельности.

Представляется возможным говорить о необходимости дифференцированного подхода к оценке наличных характеристик функционального состояния организма в зависимости от типа высшей нервной деятельности, что может быть использовано как для прогнозирования операторской работоспособности, так и в интересах профессионального психологического отбора военных операторов.

Анализ результатов исследования показал, что у этих специалистов спустя год при повторных сейсмовоздействиях практически отсутствовало выраженное психоэмоциональное напряжение. Видимо, под влиянием этих тренировок данная группа лиц адаптировалась к экстремальным ситуациям, что и обеспечивало надежную работу за пультом управления.

Ключевые слова: функциональное состояние и работоспособность операторов, стрессовые условия, вегетативные показатели, психоэмоциональное напряжение, сейсмовоздействия, пульт управления.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ работ, посвященных психофизиологии труда операторов, указывает на необходимость разработки методических приемов, позволяющих оценивать способность к эффективным и адекватным действиям при жестком лимите времени, заданном темпе и ритме работы, воздействии различных экстремальных факторов и помех [1, 7].

Функционирование систем «человек-машина» предъявляет определенный комплекс требований к быстродействию, точности, надежности и устойчивости действии оператора [2, 6]. Выполнение этих требований предполагает определенную структуру трудовой деятельности и обеспечивается системой психофизиологических свойств оператора [3].

На основе учета активности базовых, активационно-регуляторных и психологических функций в соответствии с общетеоретическими представлениями о психофизиологической сущности операторской деятельности произведена объективная оценка специфических функциональных состояний, формируемых в процессе работы за пультом в режиме ожидания сигнала [4].

Новизна работы состоит в проведении экспериментов в лабораторных условиях с применением новых методов и получении научных результатов о физиологических проявлениях организма человека во время выполнения основных видов операторской деятельности в роде Вооруженных сил и прежде всего ее главного звена – подготовки и проведении работ в экстремальных условиях деятельности.

На основании результатов исследований операторской деятельности в экстремальных условиях, указывающих на относительное постоянство неспецифических реакций на стандартную стрессогенную ситуацию у конкретного человека в фиксированных условиях, разработан методический подход к прогнозированию предстоящей деятельности человека-оператора путем отбора специалистов и учета типоспецифичности вегетативного реагирования [5].

Качество и эффективность деятельности человека-оператора за пультом управления в экстремальных условиях во многом определяются адекватностью физиологических реакций на

эмоционально-стрессовую ситуацию. Несмотря на неспецифичность стрессовых проявлений, выраженность вегетативных реакций может значительно различаться в зависимости от индивидуальных особенностей реагирования. Учет типологических особенностей высшей нервной деятельности при оценке функционального состояния организма у специалистов-операторов, работающих в режиме ожидания, открывает возможности для решения практических задач, связанных с прогнозированием эффективности их предстоящей деятельности. Кроме того, рассмотрение результатов работы с этих позиций служит обоснованием для разработки конкретных рекомендаций, направленных на обеспечение адекватной адаптации человека-оператора к стрессогенным воздействиям.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведены три этапа исследований на практически здоровых операторах, возраст которых был от 29 до 33 лет. Почти все испытуемые в прошлом занимались операторской деятельностью. Стаж работы испытуемых в среднем составлял 5,5 лет. Всего в эксперименте приняли участие 26 человек.

На первом этапе в эксперименте принимали участие 8 человек, на втором – те же специалисты, спустя год после сейсмических воздействий. На третьем этапе в эксперименте участвовали 18 испытуемых.

Исследования по моделированию экстремальных условий деятельности проводили на универсальном сейсмостенде, позволяющем создавать сейсмоударные нагрузки в горизонтальном направлении с амплитудой ускорения до 20–30 g при длительности ударного импульса 30–50 мс. Операторам предъявлялись горизонтальные сейсмоудары порядка 2–4 g.

Для оценки качества операторской деятельности использовали специальный тренажер, позволяющий определить: реакцию на звуковой, световой сигналы; реакцию на цифровую информацию; координацию работы рук одного, двух операторов; правильность выполнения логических операций; временные показатели работы.

Алгоритм деятельности приближался к реальному алгоритму боевой деятельности операторов. Также давалось задание на другом пульте (от «Физиолога-М»), моделирующем отдельные элементы операторской деятельности. С помощью этого прибора проводили замеры физиологических показателей минутного объема дыхания, частоты дыхания, частоты сердечных сокращений.

Исследования начинали с общемедицинского и психофизиологического обследования участников. Обследование проводилось за 1 час до начала эксперимента. После этого регистрировали фоновые физиологические показатели. Часть из них у испытуемых снимали на сейсмостенде перед непосредственным началом экспериментов (исходное состояние), а также после каждого сейсмического воздействия и в течение 30–60 мин восстановительного периода после воздействия. Каждому оператору предъявляли от 2 до 4 ударов. При этом специалист выполнял стандартную программу на тренажере от 5 до 8 раз. После его ответа о готовности подавали сигнал к работе за пультом управления и ложную команду к нанесению сейсмоудара, так называемому фиктивному удару. Операторы выполняли стандартную программу в условиях угрозы воздействия. Далее опять подавали сигнал к работе и наносили первый удар. Затем следовала работа за пультом управления после первого удара. В этот период не было ожидания воздействия. В дальнейшем работа протекала в условиях чередования сейсмоударов и после них.

Используя показатели вегетативных функций, изучали частоту сердечных сокращений и артериальное давление.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В исходном состоянии у испытуемых наблюдали некоторое увеличение показателей сердечно-сосудистой системы. Они становились достоверными по сравнению с фоном в тот момент, когда подавалась команда о готовности к проведению испытаний и в первые 15 с после воздействий. На третьей минуте частота сердечных сокращений возвращалась к исходному уровню. Максимальное артериальное давление повышалось сразу после воздействий и не достигало своих фоновых значений даже через 30–40 мин после окончания испытаний (табл. 1).

Таблица 1

Динамика изменения показателей гемодинамики операторов под влиянием сейсмических ударов

Показатели		Фон	Исходные данные	Команда готовность	После сейсмических воздействий				
					15 с	30 с	3 мин	5–8 мин	30–40 мин
ЧСС, уд./мин		72 ± 3	78 ± 4	86 ± 5*	89 ± 5**	83 ± 5	71 ± 4	68 ± 4	–
АД, мм рт.ст.	систолическое	112 ± 2	133 ± 5	–	–	–	–	135 ± 4*	131 ± 4
	диастолическое	76 ± 2	75 ± 2	–	–	–	–	76 ± 4	76 ± 5
	пульсовое	46 ± 2	58 ± 2,5	–	–	–	–	59 ± 4	55 ± 4

Примечание. * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$ – различия достоверны по сравнению с фоном.

Работа за пультом управления сопровождалась резким усилением хронотропной функции сердца (табл. 2). Более выраженные изменения имели место при подаче ложной команды к импульсному воздействию – фиктивному удару. С каждым последующим ударом реакция ритма сердечных сокращений на нагрузку за пультом управления снижалась. Величины частоты сердечных сокращений оставались однако на достаточно высоких уровнях до конца всех испытаний. Работа за пультом после воздействий первого и второго сейсмоударов, когда отсутствовала реальная угроза импульсного удара, сопровождалась менее выраженными изменениями сердечного ритма.

Таблица 2

Динамика изменения показателей частоты сердечных сокращений операторов на нагрузку за пультом управления в процессе сейсмических ударов

Показатели	Исходные данные	Работа за пультом управления в процессе сейсмических воздействий						
		Фиктивный удар	Первый удар	После первого удара	Второй удар	После второго удара	Третий удар	После третьего удара
ЧСС, уд./мин	78 ± 4	108 ± 4**	103 ± 5**	93 ± 4**	100 ± 4*	98 ± 4*	96 ± 5*	–

Примечание. *, ** – различия достоверны по сравнению с исходными данными.

С целью детального изучения функционального состояния организма операторов, находящихся в периоде напряженного ожидания, у 18 испытуемых провели более углубленное исследование показателей вегетативных функций.

Реакция исследуемых показателей на сенсомоторную нагрузку в исходном состоянии характеризовалась увеличением частоты сердечных сокращений (ЧСС), минутного объема ды-

хания (МОД), частоты дыхания (ЧД) и некоторым снижением дыхательного объема (ДО) (табл. 3). После работы на тренажере в условиях напряженного ожидания фиктивного удара реакция вегетативных функций на стандартную сенсомоторную нагрузку усилилась, оказалась существенной для минутного объема дыхания ($P < 0{,}05$).

Исследования, проведенные через 30–40 мин после всех испытаний, показали, что величины показателей вегетативных функций возвратились к исходному уровню или оказались несколько ниже, а эффективность деятельности повысилась.

Изменения артериального давление характеризовались увеличением как систолического, так и диастолического давления (табл. 3).

Более существенные сдвиги со стороны систолического артериального давления ($P < 0{,}001$) имели место после работы на тренажере в условиях фиктивного и первого ударов. В процессе испытания отмечали некоторое снижение артериального давления, однако после последнего сейсмовоздействия оно оставалось еще повышенным. Через 30–60 мин после испытаний величины систолического артериального давления возвращались к исходному уровню.

Таблица 3

Динамика изменения показателей артериального давления операторов в процессе сейсмовоздействий

Показатели		Исходные данные	После сейсмических воздействий			Через 30–40 мин после воздействия
			Фиктивный удар	Первый удар	Последний удар	
АД, мм рт.ст.	систолическое	122,9 ± 1,8	143,9 ± 2,3*	143,6 ± 3,0*	134,0 ± 2,9*	122,2 ± 2,5
	диастолическое	77,1 ± 2,3	82,0 ± 2,8	23,5 ± 3,0	81,7 ± 3,4	81,0 ± 1,9
ЧСС, уд./мин		70,7 ± 1,9	106,0 ± 4,4*	111,0 ± 3,3*	–	–

Примечание. * – различия достоверны по сравнению с исходными данными.

Реакция частоты сердечных сокращений на нагрузку (см. табл.3) за пультом тренажера в процессе сейсмовоздействий была значительно выраженнее, чем на приборе «Физиолог-М», и достигала 56 % от исходного уровня.

Изменения вегетативных показателей при выполнении операторских функций в условиях сейсмовоздействий имели одинаковую направленность у всех испытуемых. Вместе с тем необходимо отметить, что у двух испытуемых появились отдельные желудочковые экстрасистолы, а у одного – систолическое артериальное давление поднялось до 170 мм рт.ст., в связи с чем дальнейшие испытания были прекращены. У части испытуемых после 30–60 мин восстановительного периода сохранились повышенные уровни систолического артериального давления.

Во время работы специалиста-оператора за пультом управления, особенно при фиктивном и первом сейсмических ударах, имело место усиление поведенческих признаков эмоциональной напряженности. В этот период наряду с изменением мимики лица наблюдали скованность и суетливость в движениях. При последующих сейсмических воздействиях указанные признаки ослабевали или полностью исчезали.

Была исследована величина экскреции со слюной натрия и калия у операторов до и после работы за пультом управления при моделировании сейсмоударных воздействий.

В эксперименте приняли участие 18 операторов: из них 12 человек – впервые (первая группа) и 6 человек – повторно с интервалом в один год (вторая группа). Проводили также обследование контрольной группы операторов (18 человек).

Полученные результаты свидетельствуют о значительном психоэмоциональном напряжении операторов, впервые принимавших участие в эксперименте.

В результате проведенных исследований были получены следующие показатели, связанные с изменениями со стороны дыхания: у лиц со средними показателями силы основных нервных процессов (6 человек) во время измерения частоты дыхания в покое (за 30 мин до тренировки) установлены более высокие ее величины. Перед сейсмическим воздействием у всех испытуемых частота дыхания возросла примерно одинаково, но у лиц с высокими показателями силы основных нервных процессов она достигла меньших значений, чем у операторов со средними и низкими показателями силы основных нервных процессов. В дальнейшем у всех испытуемых изменение этих показателей происходило примерно одинаково (табл. 4).

Таблица 4

Динамика изменения частоты дыхания операторов с различной силой основных нервных процессов

Показатели силы основных нервных процессов	Фон	Исходное состояние	После фиктивного удара	Через 30–40 мин
Низкие	13,2 ± 1,9*	19,6 ± 2,5	21,0 ± 2,5	18,0 ± 3,1
Средние	16,2 ± 2,4	20,6 ± 2,1	21,7 ± 4,3	20,5 ± 4,1
Высокие	12,8 ± 1,7*	16,8 ± 1,7*	21,3 ± 5,6	17,5 ± 3,3

Примечание. * – различия достоверны по сравнению с лицами, имеющими средние показатели силы основных нервных процессов (вторая группа). В дальнейшем по тексту первую группу составляют лица с низкими показателями силы основных нервных процессов, вторую – со средними, третью – с высокими.

В зависимости от выраженности силы основных нервных процессов испытуемых были обнаружены следующие изменения со стороны сердечно-сосудистой системы: у второй группы на протяжении всего исследования частота пульса превышала данные, полученные у лиц из первой и третьей группы, и достигала после фиктивного удара максимального значения.

Мы также наблюдали различия в реагировании на экстремальные условия со стороны артериального давление.

После первого удара пульсовое давление у всех групп сравнялось, показатели систолического и диастолического давления остались такими же, как и после фиктивного удара. Более существенные различия были кого воздействия. У «сильных» систолическое давление снизилось до исходных значений. У лиц со средними показателями силы основных нервных процессов изменение артериального давления произошло в том же направлении, но менее выраженно. У «слабых» после последнего удара эти показатели оставались прежними.

При измерении артериального давления через 30–60 мин после стрессовой нагрузки у всех испытуемых показатели вернулись к исходным значениям.

Анализируя полученные данные, можно заключить, что обнаружены различия реагирования вегетативных показателей в ответ на работу в экстремальных условиях деятельности у лиц с различными показателями силы основных нервных процессов.

Для проведения эксперимента все испытуемые были обучены и натренированы на пульте до получения устойчивых навыков, позволяющих работать без инструкции, не допуская ошибок. По результатам контрольных проверок (100 испытаний) были определены (табл. 5):

а) для каждого испытуемого: среднее время работы $T_{ср}$; среднее время рассогласования рук при выполнении операции «пуск» $T_{п}$;

б) для расчетов (четыре расчета по два человека): среднее время работы $T_р$; среднее время рассогласования между операторами при выполнении операции «пуск» $T_{р.п}$.

Таблица 5

Показатели работоспособности испытуемых

Номер расчета	Номер испытуемого	$T_{ср}$	$T_п$	$T_р$	$T_{р.п}$
1	1	0,0	32,3	0,13	36,6
	2	0,11	35,0	0,13	36,6
2	3	0,17	35,3	0,07	41,5
	4	0,0	32,7	0,07	41,5
3	5	0,0	34,3	0,04	40,6
	6	0,1	33,3	0,04	40,6
4	7	0,0	34,4	0,09	36,1
	8	0,0	32,2	0,09	36,1

В первой серии исследований (8 человек) существенным было возрастание времени работы за пультом управления во время фиктивного и первого сейсмических ударов (табл. 6).

Таблица 6

Динамика работоспособности операторов за пультом управления тренажера при моделировании экстремальных условий деятельности

Показатели работоспособности	Исходные данные	Работа за пультом управления в процессе сейсмических воздействий						
		Фиктивный удар	Первый удар	После первого удара	Второй удар	После второго удара	Третий удар	После третьего удара
$T_{ср}$, с	33,7	50,5	46,0	42,7	39,9	36,9	36,9	33,9
$T_п$, с	0,05	0,26	0,65	0,17	0,17	0,15	0,15	0,13
K, усл.ед.	5,26	0,14	0,10	0,91	0,14	2,66	2,06	4,96

С последующими сейсмическими воздействиями время работы за пультом управления постепенно уменьшалось и после третьего удара практически достигало фоновых значений.

При фиктивном ударе время выполнения задания увеличилось в 1,5 раза по сравнению с исходными данными, частота сердечных сокращений возросла также в 1,5 раза по сравнению с фоновыми значениями и в 1,4 раза по сравнению с исходным состоянием.

Следует отметить, что увеличение времени работы за пультом управления во время фиктивного и первого сейсмических ударов больше по сравнению с фоном ($P < 0,05$).

Самые высокие величины времени рассогласования рук при выполнении программы и самый низкий коэффициент работоспособности (K) оказались при первом сейсмоударе. В процессе следующих воздействий величина времени рассогласования рук существенно сократилась, однако исходных значений не достигла. Интегральный показатель эффективности работы практически возвратился к исходному уровню после третьего удара.

Спустя год испытуемые, составляющие вторую группу, вновь привлекались к экспериментальным исследованиям на сейсмостенде. Показатели работоспособности у них изменились следующим образом. Относительное увеличение времени работы значительно отличалось у одних и тех же специалистов через год во время повторных сейсмовоздействий. Если во время фиктивного удара относительное увеличение времени работы за пультом со-

ставляло 1,5 с, то через год соответственно 1,1 с ($P < 0{,}02$). Статистически достоверным является изменение работоспособности и при первом импульсном ударе. В среднем оно составляло 1,4 с, а спустя год – 1,1 с ($P < 0{,}02$). При повторных исследованиях операторам для адаптации потребовался один сейсмоудар. В то время как при первом исследовании – три сейсмовоздействия.

Качество деятельности операторов свидетельствует о том, что низкие показатели работоспособности за пультом отмечали после фиктивного и первого сейсмовоздействия.

Эффективность операторской деятельности по косвенным показателям работоспособности несколько снизилась после фиктивного удара по сравнению с исходными показателями, а число ошибок повысилось. Исследования, проведенные через 30–40 мин после всех испытаний, показали улучшение работоспособности операторов (табл. 7).

На протяжении всего испытания «слабые» за 1 мин перерабатывали большее количество сигналов, чем остальные испытуемые. Особенно это заметно при сравнении их со «средними». Анализируя допущенные ошибки, можно сказать, что в исходном состоянии «слабые» также показали лучшие результаты. После фиктивного удара их показатели сравнялись с данными других испытуемых, тогда как у первой и второй групп они были без изменения.

Таблица 7

Динамика изменения показателей работоспособности операторов в период напряженного ожидания сейсмовоздействий

Показатели работоспособности	Выполнение сенсомоторной нагрузки на аппаратуре «Физиолог-М»			
	Исходные данные	После фиктивного удара	Прирост, %	Через 30–40 мин после всех испытаний
Правильные ответы	53,6 ± 1,6	52,9 ± 2,0	– 2,3	56,8 ± 2,0
Ошибки	2,9 ± 0,5	3,8 ± 0,4	31,0	2,4 ± 0,3

Результаты операторской работы за пультом управления свидетельствуют об ухудшении показателей работоспособности в процессе моделирования экстремальных условий деятельности. По мере приспособления к этим воздействиям показатели работоспособности восстанавливались до фоновых значений.

Испытуемые с высокими показателями силы основных нервных процессов в условиях конкретного эксперимента оказались в менее выгодном положении, с точки зрения работоспособности, чем лица с низкими показателями силы основных нервных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании имеющихся результатов представляется возможным говорить о необходимости дифференцированного подхода к оценке наличных характеристик функционального состояния организма в зависимости от типа высшей нервной деятельности, что может быть использовано как для прогнозирования операторской работоспособности, так и в интересах профессионального отбора военных специалистов-операторов.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что выполнение операторской деятельности в экстремальных условиях сопровождается выраженными изменениями функционального состояния организма и развитием психоэмоционального напряжения. Это подтверждено результатами исследования других физиологических и психофизиологи-

ческих функций, а также данными визуального наблюдения за поведенческими реакциями и анализа субъективных переживаний испытуемых.

Несмотря на индивидуальные различия, изменения функционального состояния организма имели одинаковую направленность и проявлялись, в частности, в учащении ритма сердечных сокращений, повышении максимального артериального давления, увеличении легочной вентиляции. При этом возрастание минутного объема дыхания происходило в основном за счет частоты дыхания, в то время как дыхательный объем практически не изменялся или имел тенденцию к снижению.

Появление отдельных экстрасистол и резкое повышение артериального давления у некоторых испытуемых указывало на высокие уровни переносимых оператором нагрузок в процессе сейсмовоздействий и необходимость тщательного медицинского отбора лиц, допущенных к проведению испытаний на сейсмостенде. Все это свидетельствует о том, что операторская деятельность в условиях экстремальной ситуации сопровождалась развитием психоэмоционального напряжения.

В процессе повторных сейсмических воздействий в условиях эксперимента выраженность изменений показателей вегетативных функций снижалась, а эффективность работы за пультом повышалась. Это свидетельствовало о снижении психоэмоционального напряжения при выполнении операторской деятельности и появлении адаптивных изменений в регуляторных механизмах приспособительных реакций организма на испытываемые нагрузки за пультом.

Более высокие значения показателей вегетативных функций отмечались при работе за пультом в условиях ожидание сейсмоудара по сравнению с данными в период отсутствия реальной угрозы сейсмического воздействия. Выявленная зависимость между числом ошибочных действий операторов при работе за пультом управления в стрессовой ситуации и показателями гемодинамики позволяет прогнозировать функциональное состояние организма и работоспособность оператора в условиях высокого психоэмоционального напряжения.

Анализ результатов исследования показал, что у операторов спустя год при повторных сейсмовоздействиях практически отсутствует выраженное психоэмоциональное напряжение. Видимо, под влиянием этих тренировок данная группа лиц адаптировалась к экстремальным ситуациям, что и обеспечило надежную работу за пультом управления.

Способность адаптироваться к новым условиям среды и, в частности, к сейсмовоздействиям зависит от индивидуальных особенностей организма. Так, можно выделить группу испытуемых со средними показателями силы основных нервных процессов как наиболее реактивную. В состоянии покоя показатели частоты дыхания и частоты сердечных сокращений были выше в этой группе. Эти испытуемые реагировали большим подъемом частоты пульса на стрессовое воздействие.

Показатели систолического давления восстанавливались с замедлением у «слабых». Сразу после последнего удара у «сильных» систолическое давление восстановилось до исходных цифр. Четко видна зависимость скорости восстановления систолического давления от выраженности силы основных нервных процессов.

На основании имеющихся результатов можно говорить о необходимости учета типоспецифичности вегетативного реагирования у лиц с различным типом высшей нервной деятельности при оценке функционального состояния и работоспособности операторов.

Наличие более выраженных изменений показателей функционального состояния и работоспособности при выполнении стандартной программы за пультом в период напряженного ожидания сейсмовоздействия, их уменьшение и улучшение эффективности работы операторов сразу после нового воздействия позволяет предположить, что в генезе этих изменений лежит психологический стресс при деятельности в экстремальных условиях.

Таким образом, сейсмические воздействия вызывают выраженную стрессовую реакцию у операторов. Возникающие при этом в организме изменения отрицательно сказываются на качестве и эффективности операторской деятельности.

Список используемых источников

1. *Благинина Е.А.*, *Благинина Т.А*. Приоритетные направления сохранения надежности профессиональной деятельности // X Вишняковские чтения: стратегия и тактика вузовской науки в регионе: материалы научно-практической конференции. – СПб., 2007. – С.153–155.

2. *Корзунин А.В*. Психофизиологические критерии оценки нервно-психической устойчивости в процессе военно-профессиональной адаптации военнослужащих: автореферат диссертации кандидата медицинских наук. – СПб., 2015. – 22 с.

3. *Кулганов В.А*. Некоторые особенности отбора кандидатов на операторские специальности // Проблемы профконсультирования молодежи: Республиканская научно-практическая конференция. – Таллинн, 1989. – С.37–40.

4. *Кулганов В.А*. Методы моделирования операторской деятельности в антропотехнических системах // Проблемы и пути совершенствования профессиональной подготовки выпускников высших военно-учебных заведений: тезисы докладов межвузовской научно-методической конференции, 13-14 ноября 1996 г. – Пушкин, 1996. – С.167–168.

5. *Кулганов В.А*., *Ленчук С.И*. Подготовка операторов центров управления МЧС к действиям в экстремальных условиях // Приложение к бюллетеню «Академия». – 1997. – № 1. – С.1–5.

6. Направления совершенствования психофизиологического обеспечения профессиональной деятельности специалистов управления космическими аппаратами / О.В. Котов, В.Н. Цыган, А.А. Благинин и др. // Военно-медицинский журнал. – 2010. – № 4. – С.4–6.

7. *Хэссет Дж*. Введение в психофизиологию. – М.: Мир, 1981. – 248 с.

В.А. Кулганов,
доктор медицинских наук, профессор;
П.Р. Гильванов,
кандидат техн. наук, доцент

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ОПЕРАТОРОВ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РЕЖИМА ОЖИДАНИЯ

Исследования, проведенные в условиях лабораторного моделирования операторской деятельности в режиме ожидания, позволили выявить у испытуемых динамику изменений вегетативных функций. Полученные данные свидетельствуют о том, что эти сдвиги в функциональном состоянии организма в основном соответствуют изменениям, наблюдаемым у личного состава дежурных смен в конкретных условиях дежурства, и выражаются в снижении уровня вегетативно-энергетического обеспечения организма.

Комплексное исследование психофизиологических и биохимических показателей оказалось перспективным в плане прогнозирования операторской деятельности и профессионального отбора специалистов данной категории.

Ключевые слова: функциональное состояние организма, работоспособность, частота сердечных сокращений, артериальное давление, свойства основных нервных процессов, частота и минутный объем дыхания.

В специальной звукоизолированной камере с помощью экспериментальной аппаратуры имитировали основные элементы операторской деятельности и регистрировали результаты выполнения стандартных программ по заданному алгоритму. Рабочая среда в камере характеризовалась стабильными параметрами, соответствующими гигиеническим нормативам, установленным для рабочих мест личного состава дежурных смен в конкретных условиях учебно-боевой деятельности.

Участвующие в эксперименте испытуемые (19 практически здоровых мужчин в возрасте 18–23 лет) перед дежурством за пультом управления выполнили 8–10 тренировочных циклов для достижения оптимальных результатов стандартного задания. Программа действий по заданному алгоритму включала в себя обслуживание 50 световых сигналов-стимулов, поступавших на пульт экспериментальной установки в регулируемом темпе (в данном эксперименте через 3 с при работе в учебно-тренировочном режиме).

Темп следования сигнальной информации через 3 с является оптимальным с точки зрения безошибочности и быстродействия при работе за пультом.

Экспериментальная установка автоматически регистрировала суммарное время правильно выполненных действий и число допущенных при этом ошибок. Контроль состояния осуществляли с помощью комплекса методик, позволяющих оценить напряженность работы за пультом по отдельным показателям физиологических функций. На полиграфе производили непрерывную запись физиологических параметров (частота сердечных сокращений, электрокардиограмма, частота и минутный объем дыхания) и показателей успешности выполнения стандартного задания.

Оценку функционального состояния организма и работоспособности испытуемых проводили по показателям функциональной активности центральной нервной системы, состоянию вегетативных и психофизиологических функций, эффективности деятельности за пультом экспериментальной установки, результатам отдельных биохимических проб.

С целью изучения индивидуальных особенностей реагирования у испытуемых определяли тип высшей нервной деятельности. Текущие показатели функционального состояния в ходе эксперимента замеряли до и после выполнения стандартной программы, в начале и в конце моделируемой рабочей смены. Испытуемые в процессе «дежурства» находились в постоян-

ном ожидании возможного сигнала к работе. По условиям эксперимента время подачи сигнала и вероятность его поступления оставались неопределенными.

В процессе исследования в лабораторных условиях проводили эксперимент по моделированию четырехчасового дежурства за пультом управления в режиме ожидания сигнала. Была определена динамика изменений вегетативных показателей и активности состояния испытуемых (бдительности) (табл. 1–3). Режим ожидания сопровождался снижением уровня активности базовых функций. Так, частота пульса уменьшалась за исследуемый период в среднем на 14 уд./мин ($P < 0{,}001$), максимальное и пульсовое артериальное давление снижались соответственно на 6 ($P < 0{,}05$) и 9 ($P < 0{,}05$) мм рт.ст., а температура тела и кожи – соответственно на 0,4° С ($P < 0{,}001$) и 2,3° С ($P < 0{,}05$). Величина вегетативного индекса Кердо уменьшалась с +10 до –12 ед. ($P < 0{,}001$), что свидетельствует о сдвиге вегетативного баланса в сторону усиления парасимпатических влияний.

Показатели бдительности оказались достоверно ниже на третьем и четвертом часу дежурства. К концу смены время реакции на контрольный стимул увеличилось по сравнению с исходными данными почти в 2 раза ($P < 0{,}05$), что, видимо, объясняется снижением бдительности в ожидании сигнала к концу дежурства.

Таблица 1

Динамика изменения вегетативных показателей испытуемых

Вегетативные показатели	Периоды исследования		*P*
	начало смены	конец смены	
ЧСС, уд./мин	80,2 ± 1,9	66,5 ± 1,9	< 0,001
МОД, л/мин	9,8 ± 0,3	9,2 ± 0,4	–
ЧД, дых./мин	15,9 ± 0,6	15,5 ± 0,6	–
ДО, мл	634 ± 21	597 ± 25	–
АД, мм рт. ст.			
систолическое	118 ± 2,3	112 ± 2,3	< 0,05
диастолическое	71,3 ± 1,9	73,4 ± 1,9	–
пульсовое	47,1 ± 2,9	38,2 ± 1,9	< 0,05
ВИ, ед.	+9,9 ± 2,9	–12,5 ± 4,8	< 0,001

Примечание. В этой таблице и далее ЧСС – частота сердечных сокращений; МОД – минутный объем дыхания; ЧД – частота дыхания; ДО – дыхательный объем; АД – артериальное давление; ВИ вегетативный индекс Кердо; *P* – достоверность различий по критерию Стьюдента.

Необходимо отметить, что изменения температуры кожи фаланги кисти носили разнонаправленный характер в отличие от тыла той же кисти, что, по-видимому, свидетельствует об особенностях терморегуляции верхних конечностей. Данные изменения, по всей вероятности, могут быть объяснены факторами обстановки: гиподинамия, монотония, сенсорная депривация, так как гигиенические параметры среды, и прежде всего температура камеры, где проходили эксперименты, оставались стабильными. Субъективная оценка теплоощущения также колебалась незначительно: 2,8 – в начале и 2,5 – в конце смены.

Из представленных показателей более чувствительным в данном эксперименте к моделируемым факторам режима ожидания оператора оказалась температура, причем ее снижение на разных участках кожи неодинаково и не везде однонаправленно, что, вероятно, связано с различной сегментарной иннервацией этих участков, а также особенностями их кровоснабжения.

Таблица 2

Изменение температуры тела и кожи испытуемых в динамике смены

Периоды исследования	Температура, °С		
	под языком	кожи тыла кисти	кожи фаланги среднего пальца
До смены	36,8 ± 0,1	29,0 ± 0,9	26,5 ± 1,3
После смены	36,4 ± 0,03	26,7 ± 0,9	24,6 ± 0,8
P	< 0,001	< 0,05	–

Величины урежения частоты пульса за смену у отдельных лиц колебались от 1 до 30 ударов в минуту. С целью выявления зависимости степени урежения пульса от исходного уровня выделено 3 группы испытуемых: 1) лица с высокими значениями частоты пульса (87–94 уд./мин); 2) со средними значениями (77–78 уд./мин); 3) испытуемые с относительно низкими исходными уровнями показателя (62–74 уд./мин). Средние величины урежения пульса составили соответственно 20,3 уд./мин для первой, 10,9 уд./мин для второй и 9,6 уд./мин для третьей группы.

Таблица 3

Динамика показателей бдительности (время реакции на контрольный сигнал, мс)

Периоды исследования	Показатели бдительности	*P*
	M ± *m*	
До работы	302 ± 12	–
Режим ожидания:		
2 часа	538 ± 33	–
3 часа	757 ± 93	< 0,05
4 часа	949 ± 142	< 0,05

Примечание. В этой таблице и далее *M* – среднее арифметическое; *m* – средняя ошибка; *P* – достоверность различий по сравнению с исходными данными до работы.

В группе с высокими исходными значениями частоты пульса наблюдали и более выраженное его урежение. В результате этого различия средних величин показателей между группами в конце смены становятся менее значительными.

Особенности вегетативных реакций на сенсомоторную нагрузку за пультом управления в режиме ожидания оценивали по изменению частоты пульса, минутного объема дыхания, частоты дыхания и дыхательного объема с помощью прибора «Физиолог-М» (программы № 1 и № 2).

Данные, представленные в табл. 4, свидетельствуют о том, что выполнение первой программы за пультом в начале рабочей смены вызвало увеличение минутного объема дыхания по сравнению с покоем на 23,2 % ($P < 0,001$) главным образом за счет частоты дыхания. Ее прирост составил при этом 29,6 % ($P < 0,001$). Дыхательный объем имел некоторую тенденцию к снижению. Увеличение частоты пульса на нагрузку было менее существенным, чем частоты дыхания. В силу этого величина отношения частоты пульса к частоте дыхания снизилась на 15,7 % ($P < 0,01$).

Изменение минутного объема дыхания и частоты дыхания на нагрузку у всех операторов носили закономерный характер. Менее закономерные сдвиги имели место со стороны дыхательного объема и частоты пульса. На фоне общих тенденций к снижению глубины вдоха на 25–113 мл и учащения пульса на 1–22 уд./мин в период выполнения нагрузки у отдельных

лиц наблюдали увеличение дыхательного объема на 20–100 мл (6 человек) и урежение пульса на 1–4 уд./мин (3 человека) или его сохранение на уровне покоя (3 человека).

Вегетативные реакции на нагрузку при выполнении второй программы носили аналогичный характер, однако степень их выраженности оказалась менее значительной, особенно для частоты и минутного объема дыхания.

В восстановительный период все показатели возвратились к своему исходному уровню или стали несколько ниже (минутный объем и частота дыхания).

Таблица 4

Динамика изменения отдельных показателей вегетативных функций на сенсомоторную нагрузку

Показатели	Исходные данные	Программа № 1	*P*	Программа № 2	*P*	Восстановление
Работа за пультом до смены						
ЧСС, уд./мин	80 ± 2	85 ± 2	–	84 ± 2	–	79 ± 2
МОД, л/мин	99 ± 0,3	122 ± 0,5	< 0,001	11,6 ± 0,4	< 0,01	9,1 ± 0,3
ЧД, дых./мин	15,9 ± 0,6	20,6 ± 0,9	< 0,001	19,6 ± 1,0	< 0,01	15,7 ± 0,6
ДО, мл	633 ± 22	606 ± 26	–	606 ± 23	–	588 ± 20
ЧП/ЧД	5,1 ± 0,2	4,3 ± 0,2	< 0,01	4,4 ± 0,2	< 0,05	5,1 ± 0,2
Работа за пультом после смены						
ЧСС, уд./мин	66 ± 2	72 ± 2	–	70 ± 2	–	66 ± 2
МОД, л/мин	9,1 ± 0,4	10,8 ± 0,6	< 0,05	10,7 ± 0,6	< 0,05	8,6 ± 0,3
ЧД, дых./мин	15,4 ± 0,6	19,5 ± 0,7	< 0,001	18,6 ± 0,8	< 0,01	15,4 ± 0,6
ДО, мл	598 ± 26	561 ± 34	–	591 ± 36	–	566 ± 20
ЧП/ЧД	4,4 ± 0,2	3,7 ± 0,2	< 0,05	3,9 ± 0,2	–	4,4 ± 0,2

Примечание. *P* – достоверность различий по сравнению с исходными данными.

Исследование вегетативных реакций в конце четырехчасовой смены выявило аналогичный характер их изменений. Следует отметить некоторое снижение их абсолютных уровней во время нагрузки по сравнению с данными в начале смены. Для средних значений частоты пульса эти изменения оказались существенными и составили при выполнении первой и второй программ соответственно 13 и 14 уд./мин ($P < 0{,}001$).

Таким образом, в процессе моделируемой четырехчасовой смены дежурства за пультом выявлена характерная динамика показателей вегетативных функций, свидетельствующая о снижении уровня вегетативно-энергетического обеспечения организма в режиме ожидания. Более закономерные изменения выявлены в частоте пульса и температуре тела (под языком).

Исследование вегетативных реакций не выявило изменений в состоянии регуляторных механизмов сердечно-сосудистой и дыхательной систем при сенсомоторной нагрузке за пультом управления в режиме ожидания.

Проведенные исследования показали, что у испытуемых наблюдали различия в ряде показателей, измеренных до и после экспериментальной смены (9.00–13.00).

В исходном состоянии, то есть на 9.00 экскреция натрия, калия со слюной, ее *pH* были в пределах физиологической нормы.

После четырехчасового моделирования режима ожидания обнаружена следующая достоверная динамика. Концентрация натрия уменьшилась ($P < 0{,}05$), в результате чего намети-

лась тенденция к снижению коэффициента натрий/калий (табл. 5), что обычно происходит при психоэмоциональном напряжении.

Таблица 5

Изменение показателей минералэкскреторной функции слюнных желез в динамике экспериментальной смены

Показатели	До смены	После смены	*P*
Натрий слюны, ммоль/л	7,51 ± 0,65	6,02 ± 0,55	< 0,05
Калий слюны, ммоль/л	19,81 ± 1,05	19,12 ± 0,96	–
Коэффициент натрий/калий слюны	0,401 ± 0,045	0,336 ± 0,046	–
pH слюны	6,8 ± 0,2	6,6 ± 0,1	–

Полученное противоречие, видимо, объясняется суточной ритмикой натрия (максимум – ночные и утренние часы, затем к 11.00 снижение) и отсутствие такой у калия.

По-видимому, дежурство за пультом управления в период экспериментальной смены не влияет на экскрецию калия со слюной.

На *pH* слюны моделируемая гиподинамия существенного влияния не оказывает.

Связь эффективности работы операторов за пультом управления с уровнем экскреции натрия в слюне показана в табл. 6 (коэффициент корреляции равен – 0,483, $P < 0,05$, $n = 20$).

Таблица 6

Взаимосвязь эффективности деятельности операторов за пультом управления с уровнем экскреции натрия в слюне

Показатели	Работоспособность	
	высокая	низкая
Безошибочность работы	4,9 ± 1,1*	13,4 ± 2,6
Натрий, мг	15,2 ± 1,4**	9,2 ± 1,1

Примечание. *, ** – различия достоверны по сравнению с низким уровнем работоспособности.

Проведенные эксперименты показали, что оценка по экскреции со слюной натрия и калия различных состояний оператора является достаточно информативной методикой, позволяющей также изучать функциональное состояние человека и с позиции биоритмологии.

Выявленная связь эффективности работы оператора за пультом управления с уровнем экскреции натрия в слюне позволяет прогнозировать по биохимическим показателям деятельность оператора и тем самым контролировать надежность системы «человек – машина».

Работоспособность изучали на пульте, имитирующем отдельные элементы операторской деятельности, и сравнивали по группам испытуемых с различным типом высшей нервной деятельности.

Операторы с высокой подвижностью основных нервных процессов справлялись с заданием на протяжении всех десяти циклов за меньшее время, причем эта разница в среднем сохранилась до конца работы, несколько увеличиваясь к IX и X циклам (рис. 1). Эти лица работали с меньшим количеством ошибок, что более заметно в I и II циклах. У испытуемых с низкими показателями подвижности данные хуже, особенно в I и II циклах.

Сравнивая результаты работы на пульте управления с силой основных нервных процессов, можно отметить, что «сильные» быстрее достигали уровня безошибочности работы (III цикл), чем «слабые» (IV цикл).

При исследовании косвенных показателей работоспособности с помощью аппаратуры «Физиолог-М» (блок «резервы») обнаружено, что у лиц с сильным типом высшей нервной деятельности за одинаковое время количество правильных ответов на предъявляемую нагрузку по второй программе достоверно больше, чем у «слабых», как до, так и после смены ($P < 0,05$). Среднее количество ошибок, допущенных «сильными», практически не изменялось, тогда как у лиц со слабым типом высшей нервной деятельности имелась тенденция к их увеличению после четырехчасового режима ожидания сигнала (табл. 7).

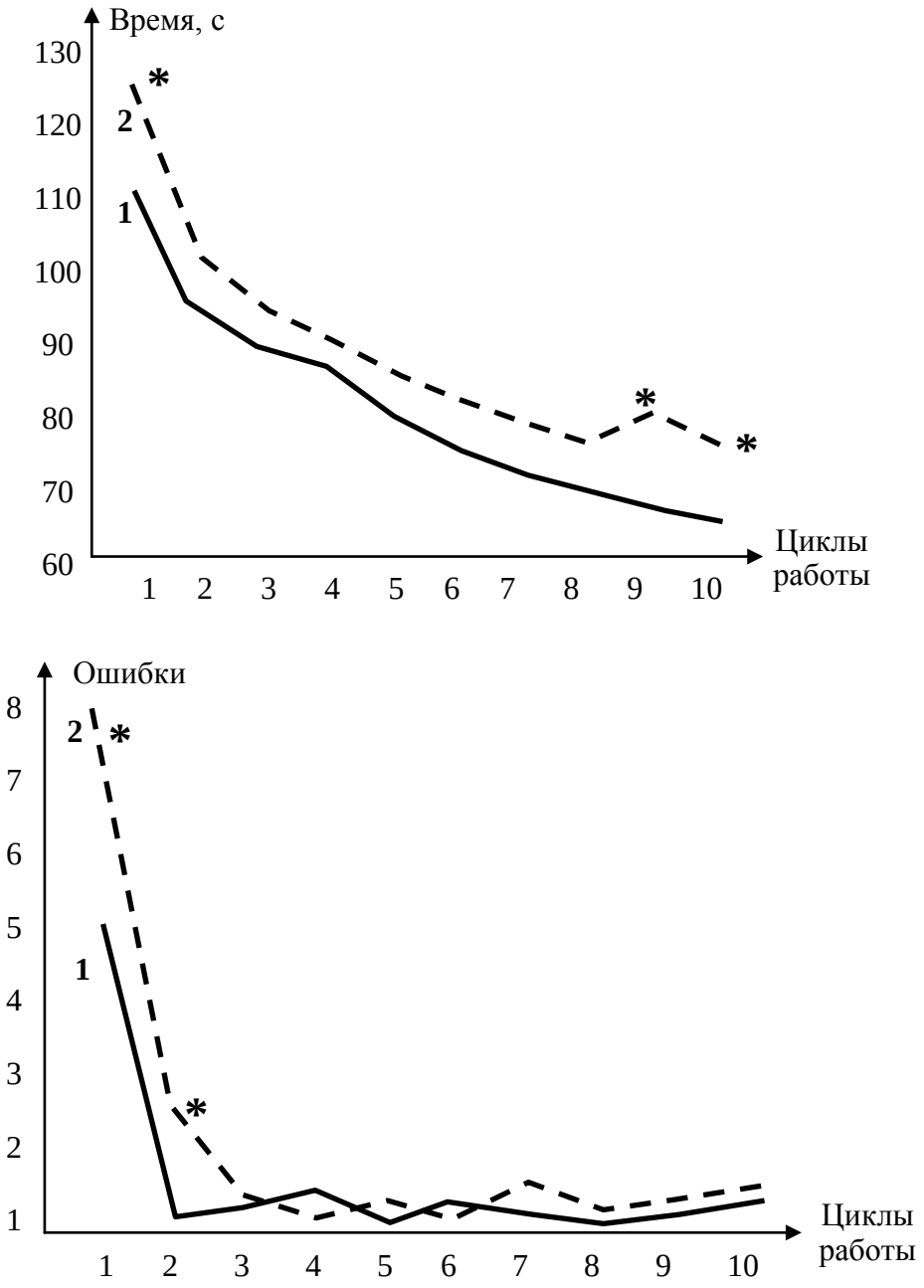


Рис. 1. Быстродействие и безошибочность работы операторов с различной подвижностью основных нервных процессов:
1 – лица с высокими показателями подвижности основных нервных процессов;
2 – лица с низкими показателями подвижности основных нервных процессов;
** – различия достоверны по сравнению с данными, представленными в виде графика 1*

У лиц с различной подвижностью основных нервных процессов достоверных различий в этих показателях не обнаружено.

Дифференцированный подход с учетом типа высшей нервной деятельности позволяет дать конкретные рекомендации по отбору специалистов на операторские специальности.

В тех случаях, когда возможно возникновение сложных ситуаций несвоевременное устранение которых может быть связано с большими материальными затратами, опасностью для жизни оператора и где оперативная надежность зависит от определенных приемов действия, целесообразно прогнозировать деятельность по степени выраженности типа высшей нервной деятельности. Необходимо отметить важность учета «физиологической стоимости» затрат организма в зависимости от индивидуально-типологических особенностей человека в операторской деятельности.

Таблица 7

Показатели работоспособности и функционального состояния операторов в зависимости от силы основных нервных процессов

Показатели силы основных нервных процессов	Количество ПО	Количество ошибок	МОД, дых./мин	ЗМР, мс
До смены				
Операторы с высокими показателями силы основных нервных процессов (n = 10)	51,0 ± 3,4	4,9 ± 1,0	10,1 ± 0,4	218 ± 8
Операторы с низкими показателями силы основных нервных процессов (n = 7)	40,6 ± 3,7	6,6 ± 2,3	9,5 ± 0,5*	227 ± 13*
Достоверность различий	< 0,05	–	–	–
После смены				
Операторы с высокими показателями силы основных нервных процессов (n = 10)	51,0 ± 3,0	5,1 ± 1,3	9,9 ± 0,4	226 ± 8
Операторы с низкими показателями силы основных нервных процессов (n = 7)	41,0 ± 3,7	8,3 ± 3,1	7,8 ± 0,4	290 ± 23*
Достоверность различий	< 0,05	–	< 0,05	< 0,05

Примечание. В этой таблице и далее ПО – правильные ответы; МОД – минутный объем дыхания; ЗМР – зрительно-моторная реакция; n – количество обследованных; *, ** – различия достоверны по сравнению с данными, полученными после смены.

После четырехчасового режима ожидания показатели среднего систолического давления при наличии однонаправленных сдвигов в сторону снижения у лиц с высокими показателями силы основных нервных процессов были достоверно ниже, чем у «слабых», у которых возросло диастолическое давление, в то время как у «сильных» оно осталось стабильным. У «слабых» психофизиологические показатели лучше, достоверно выше косвенные показатели работоспособности, как до, так и после четырехчасового дежурства за пультом управления. После дежурства у «слабых» достоверно выше показатели зрительно-моторной реакции по сравнению с исходным их состоянием и с показателями этой реакции у «сильных» после дежурства за пультом управлении.

У лиц с высокой подвижностью основных нервных процессов отмечали тенденцию к улучшению средних показателей работоспособности.

В процессе эксперимента у лиц с разными типологическими особенностями высшей нервной деятельности были обнаружены различия со стороны дыхания.

Отмечена разница реакции на работу по показателям минутного объема дыхания перед дежурством у лиц с различной подвижностью основных нервных процессов. У испытуемых с низкой подвижностью эти величины резко возрастали после предъявления им психофизиологического теста и, постепенно снижаясь, держались на достаточно высоком уровне до окончания выполнения теста и в течение трех минут после нагрузки (табл. 8). У лиц со слабым типом высшей нервной деятельности после смены отмечали снижение минутного объема дыхания по сравнению с «сильными». Эти группы испытуемых отличались также и по частоте дыхания.

Таблица 8

Показатели функционального состояния операторов в зависимости от подвижности основных нервных процессов

Тип высшей нервной деятельности	МОД, л/мин				Амплитуда α-ритма
	До выполнения программы	Программа № 1	Программа № 2	После выполнения программы	
До смены					
Операторы с высокими показателями подвижности основных нервных процессов	9,6 ± 0,4	11,2 ± 0,3	10,5 ± 0,5	8,6 ± 0,4	18,1 ± 1,9
Операторы с низкими показателями подвижности основных нервных процессов	10,1 ± 0,4	13,0 ± 0,8	12,4 ± 0,6	9,6 ± 0,3	24,5 ± 4,4
P	–	< 0,05	< 0,05	< 0,05	–
После смены					
Операторы с высокими показателями подвижности основных нервных процессов	9,3 ± 0,5	10,7 ± 0,9	10,4 ± 0,9	8,5 ± 0,4	17,2 ± 2,1
Операторы с низкими показателями подвижности основных нервных процессов	8,8 ± 0,6	10,7 ± 1,0	10,9 ± 0,9	8,6 ± 0,5	29,4 ± 4,6
P	–	–	–	–	< 0,05

При анализе данных электроэнцефалографии у лиц с различной подвижностью основных нервных процессов наблюдали разницу в величине амплитуды альфа-ритма. У лиц с низкой подвижностью этот показатель был выше как до, так и после дежурства, у испытуемых с высокой подвижностью эти величины были ниже и почти не изменялись в динамике дежурства.

Таким образом, в процессе эксперимента были выявлены различные реакции организма на режим ожидания в зависимости от типа высшей нервной деятельности. Сопоставляя эти данные с показателями работоспособности, можно выделить группы людей, у которых труд оператора в этих условиях будет обеспечиваться разной «физиологической стоимостью».

Исследования, проведенные в условиях лабораторного моделирования операторской деятельности в режиме ожидания, позволили выявить у испытуемых динамику изменений веге-

тативных функций. Полученные данные свидетельствуют о том, что эти сдвиги функционального состояния организма в основном соответствуют изменениям, наблюдаемым у личного состава дежурных смен в конкретных условиях дежурства и выражаются в снижении уровня вегетативно-энергетического обеспечения организма.

Об уровне психоэмоционального напряжения судили по показателям минералэкскреторной функции слюнных желез. Полученные результаты указывали на наличие эмоциональных влияний в составе комплекса факторов, моделируемых в условиях эксперимента.

Обращает на себя внимание, что общая направленность сдвигов в функциональном состоянии центральной нервной системы аналогична изменениям, наблюдаемым в реальных условиях боевого дежурства.

Указанное обстоятельство позволяет сделать заключение об адекватности экспериментальной модели и возможности ее использования при решении частных задач физиологического эксперимента.

Сравнивая полученные данные с типом высшей нервной деятельности, можно отметить, что лицам с низкими показателями силы основных нервных процессов необходимо большее время для «врабатываемости» в операторскую деятельность, чем «сильным». За одно и то же время «слабые» перерабатывали меньше информации. На них сильнее влиял режим ожидания, что выражалось в увеличении количества допущенных ошибок. Одновременно у них отмечали замедленную скорость зрительно-моторной реакции, увеличение диастолического давления, уменьшение минутного объема дыхания. Это, видимо, объясняется снижением энерготрат.

Итак, комплексное исследование психофизиологических и биохимических показателей оказалось перспективным в плане прогнозирования операторской деятельности и профессионального отбора специалистов данной категории.

С.М. Дарвейш;
А.Н. Добролюбов,
кандидат техн. наук;
Е.Л. Лебедев,
доктор техн. наук, доцент;
Н.С. Самойлов,
доктор техн. наук, профессор

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ АЛЮМИНИЯ

В работе представлены методика и результаты экспериментального определения механических характеристик нашедших в настоящее время широкое применение в машиностроении углеродистых сталей с различным содержанием алюминия и кремния (трип-сталей). С этой целью выполнялись их испытания на одноосное растяжение и на ударную вязкость.

Ключевые слова: трип-стали, механические испытания, механические характеристики.

В настоящее время широкое применение в машиностроении приобретают углеродистые стали с различным содержанием алюминия и кремния. Данные стали, получившие название «трип-стали», отличаются от традиционных углеродистых сталей хорошим сочетанием технологических и эксплуатационных свойств [1, 2].

В данной статье представлены результаты экспериментального определения механических характеристик наиболее характерных трип-сталей. Для этого выполнялись их испытания на одноосное растяжение и ударную вязкость, а также определялись твердость и выносливость. Оценивание именно этих свойств обусловлено условиями практического применения данных материалов.

Исследования проводились для четырех наиболее характерных углеродистых сталей с содержанием алюминия и кремния, химический состав которых показан в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемых сталей

№ сплава	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Nb	B	Ti	N
1	0,088	0,29	1,64	0,008	0,0083	0,031	0,2	0.51	0,40	0,018	0,028	0,026	0,0017	0,001	0,0049
2	0,088	0,30	1,62	0,007	0,0080	0,062	0,2	0,48	0,41	0,018	0,027	0,026	0,0016	0,001	0,0043
3	0,089	0,30	1,63	0,007	0,0071	0,091	0,2	0,50	0,40	0,018	0,028	0,026	0,0000	0,001	0,0050
4	0,088	0,30	1,66	0,008	0,0060	0,120	0,2	0,50	0,40	0,019	0,028	0,026	0,0018	0,002	0,0044

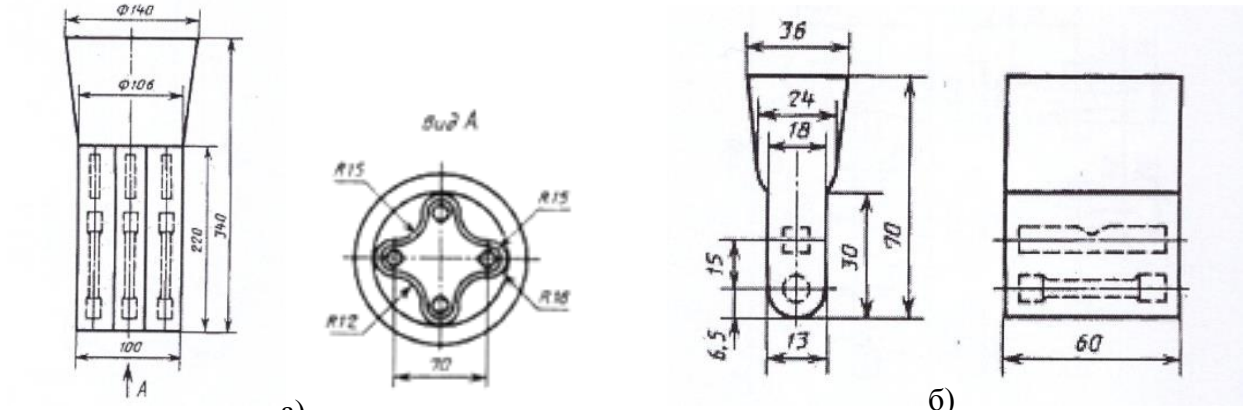
Отливки, которые были использованы при изготовлении образцов для испытаний, выполнялись согласно ГОСТ [5]. Были использованы отливки двух видов, а именно:

– отливки, предназначенные для изготовления образцов для испытаний на одноосное растяжение (рис. 1, а);

– отливки, предназначенные для изготовления образцов для испытаний на растяжение и ударную вязкость (рис. 1, б).

Необходимо отметить, что фазовый состав исследуемых сплавов в основном ферритный с включениями цементита по границам зерен. Кроме того, для фазового состава важно наличие твердых растворов или химических соединений легирующих элементов в железе.

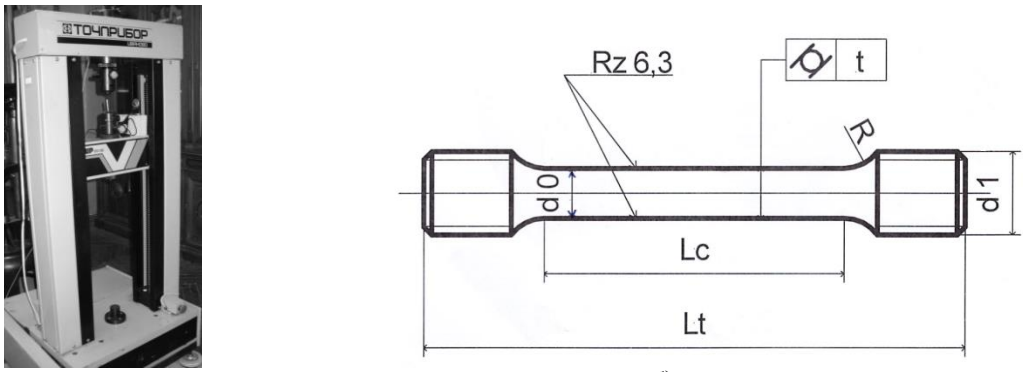
Основное отличие выбранных для анализа сплавов заключается в различном содержании алюминия. Результаты проведенного анализ влияния этого элемента в сочетании с влиянием кремния на механические характеристики и коррозионную стойкость трип-сталей представлены ниже.



а) б)

Рис. 1. Отливки для изготовления образцов для механических испытаний:
а – отливка для изготовления образцов для испытаний на одноосное растяжение;
б – отливка для изготовления образцов для испытаний на ударную вязкость и растяжение

Испытания на одноосное растяжение выполнялись в соответствии с [6]. Для испытаний использовалась установка ИР-5113-100 (рис. 2, а) и образцы (рис. 2, б).



а) б)

Рис. 2. Средства для испытаний на одноосное растяжение:
а – установка для испытаний на одноосное растяжение ИР-5113-100;
б – образцы для испытаний по ГОСТ 1497-84

Геометрические параметры образцов для испытаний на одноосное растяжение показаны в табл. 2.

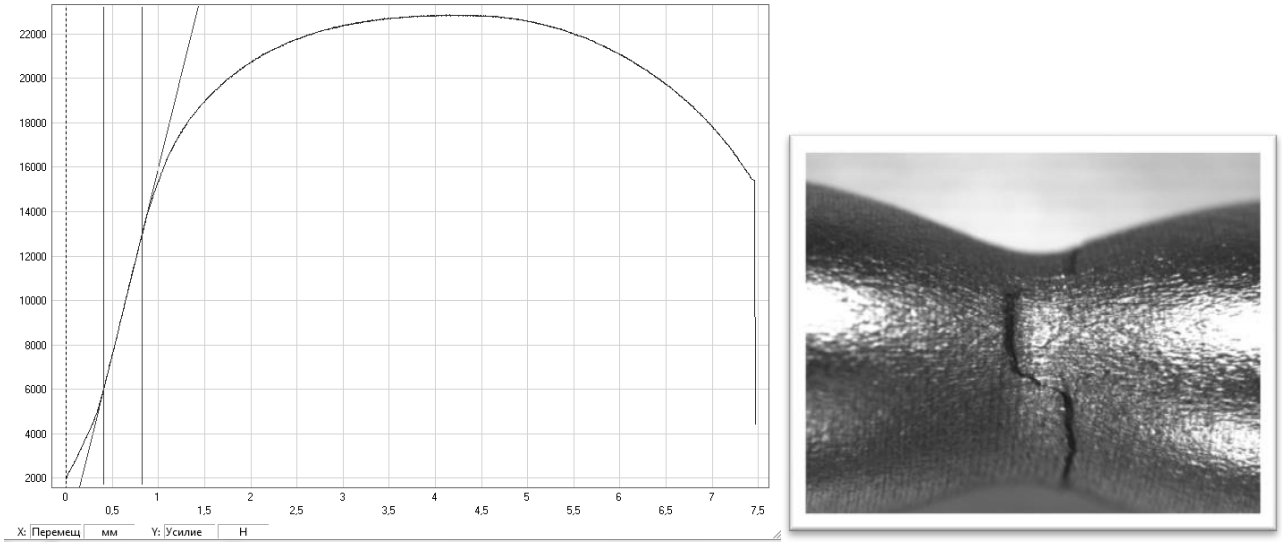
Таблица 2

Геометрические параметры образцов для испытаний на одноосное растяжение [6]

Параметр, обозначение	Номинальное значение, мм	Отклонение, мм
Диаметр рабочей части, d0	6	± 0,06
Диаметр захватов, d1	M10	
Радиус, R	5	± 0,05
Длина рабочей части, Lc	36	+2/-0
Общая длина, Lt	65	± 2
Отклонение формы поперечного сечения, t	0,03	

При испытаниях на одноосное растяжение образцы устанавливались в захваты установки и подвергались растяжению со скоростью деформирования 1 мм/мин. Испытания проводились при комнатной температуре по пять образцов для каждого сплава.

В результате испытания для каждого образца была получена диаграмма «напряжение (усилие) − деформация». Вид данной диаграммы и «шейка» образца после разрушения показаны на рис. 3.

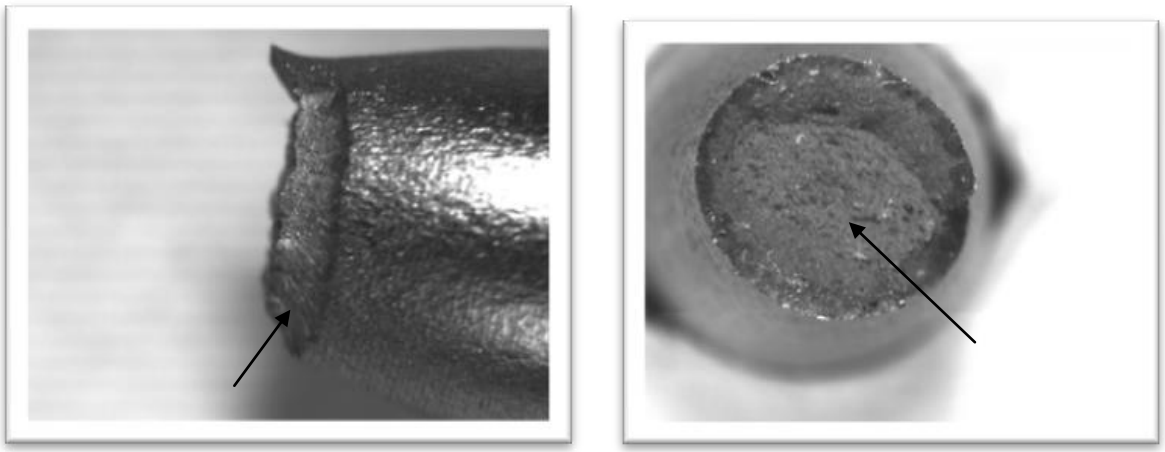


а) б)

Рис. 3. Диаграмма растяжения для исследуемых сплавов и характер «шейки» образца после разрушения: а – диаграмма «напряжение (усилие) − деформация» для исследуемых сплавов; б – «шейка» образца после разрушения

Анализ диаграммы «напряжение (усилие) − деформация» показал, что для данных сплавов отсутствует характерная для обычных углеродистых сталей «площадка текучести», что говорит об отсутствии в них интенсивной деформации по плоскостям скольжения [3].

Разрушение образцов происходило на начальном этапе путем среза с последующим хрупким отрывом (рис. 4).



а) б)

Рис. 4. Характер разрушения образцов: а – зона начального разрушения методом среза; б – зона окончательного разрушения методом отрыва

Зависимость прочностных характеристик (временного сопротивления разрыву σ_B) и характеристик пластичности (относительного удлинения после разрыва δ и относительного сужения после разрыва φ) исследуемых сплавов показаны на рис. 5.

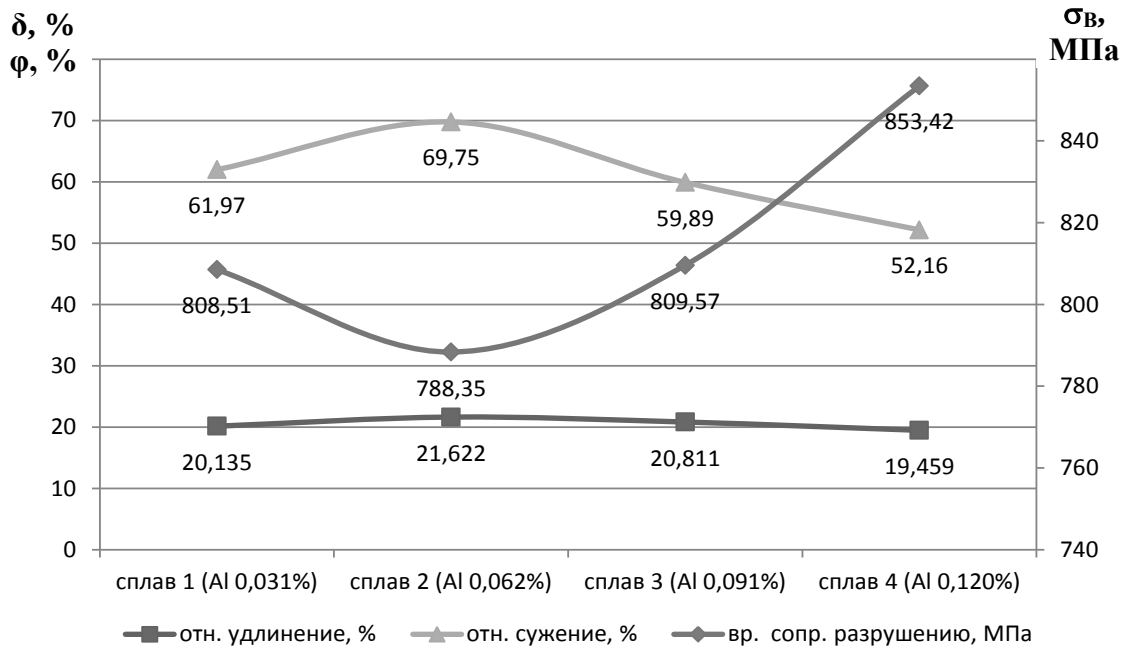
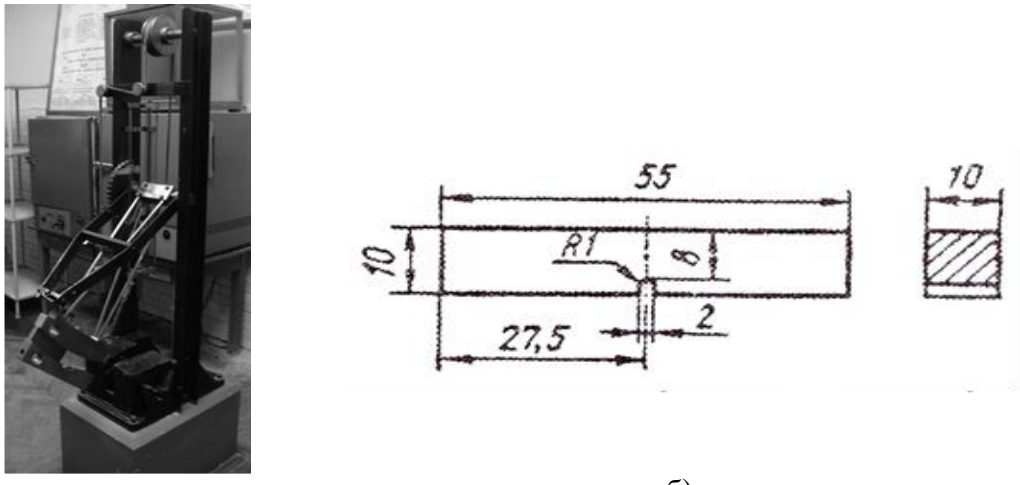


Рис. 5. Зависимость характеристик прочности и пластичности исследуемых сплавов от содержания алюминия

Согласно зависимостям (см. рис. 5) наиболее высокая прочность (σ_B = 853,42 МПа) наблюдается у исследуемых сплавов с наибольшим содержанием алюминия. Однако для этих сплавов характерно снижение характеристик пластичности (δ = 19,459 %; φ = 52,16 %). С другой стороны, наиболее высокая пластичность (δ = 21,622 %; φ = 69,75 %) наблюдается у сплава № 2, который, в свою очередь, характеризуется самой низкой прочностью (σ_B = 788,35 МПа).

Испытания на ударную вязкость выполнялись согласно ГОСТ [7]. Для испытаний использовались маятниковый копер МК-15 и образцы с концентратором напряжения в виде надрезов U-образной формы (рис. 6).



а) б)

Рис. 6. Средства для испытаний на ударную вязкость:
а – маятниковый копер МК-15;
б – образцы для испытаний по ГОСТ 25.506-85

Результаты испытаний на ударную вязкость показаны на рис. 7.

Согласно представленным результатам ударная вязкость зависит от содержания алюминия в исследуемых сплавах [4].

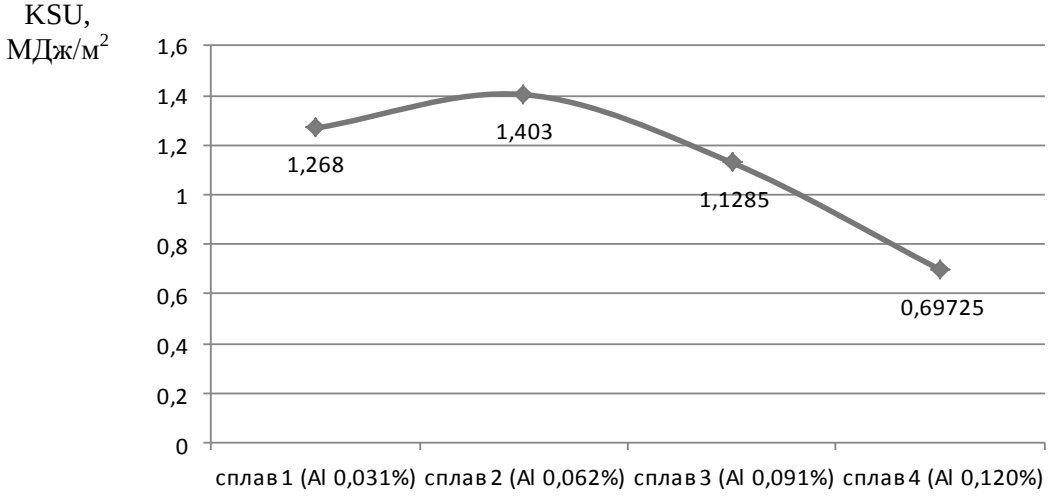


Рис. 7. Зависимость ударной вязкости исследуемых сплавов от содержания алюминия

Наблюдается увеличение ударной вязкости для сплава № 2 и снижение данного параметра для сплавов № 3 и 4. Данная зависимость может объясняться тем, что для сплава №2 повышение пластичности имеет превалирующее значение для увеличения работы разрушения, чем снижение прочности. Для сплавов №3 и 4 снижение характеристик пластичности в большей степени повлияло на работу разрушения по сравнению с повышением прочности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, интегральный показатель механических характеристик, а именно работа разрушения, имеет максимальное значение для сплава с содержанием алюминия 0,062 %. Поэтому данное содержание алюминия можно считать оптимальным с точки зрения обеспечения максимальных показателей ударной вязкости.

При увеличении или уменьшении содержания алюминия по сравнению с вышеупомянутым значением ударная вязкость снижается. Возможно, что снижение ударной вязкости при увеличении содержания алюминия объясняется наличием химических соединений алюминия с другими легирующими элементами исследуемых сплавов, например $CuAl_2$, NAl и др.

Список используемых источников

1. Металлы и сплавы: справочник. – СПб.: НПО «Профессионал», 2003. – 1066 с.

2. *Шкатов В.В.* Моделирование фазовых и структурных превращений при термической обработке проката из раскисленных алюминием низкоуглеродистых сталей: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Липецк, 2007.

3. *Захарова Е.Г.* Влияние алюминия на механизмы деформации, деформационное упрочнение и разрушение высокопрочных монокристаллов стали Гадфильда: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Томск, 2005.

4. *Науменко В.В.* Влияние азота и кремния на механические и коррозионные свойства низкоуглеродистой аустенитной стали для применения в сильноокислительных средах:

автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М., 2012.

5. ГОСТ 977-88. Отливки стальные. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2005.

6. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. – М.: Стандартинформ, 2008.

7. ГОСТ 25.506-85. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Стандартинформ, 2003.

И.В. Наумчик,
кандидат техн. наук;
Л.А. Сырцов,
кандидат техн. наук, доцент;
И.В. Соколова,
кандидат химических наук, доцент;
Т.Ф. Савина

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ МАССОВОГО РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ТРУБЫ ВЕНТУРИ

Разработан способ измерения массового расхода жидкостей, особенно агрессивных, с помощью сужающего устройства на основе трубы Вентури. Показаны перспективные пути аппаратной реализации разработанного массового расходомера переменного перепада давления.

Ключевые слова: расходомер, труба Вентури, перекись водорода, сужающее устройство, дифференциальный манометр.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует широкая номенклатура расходомеров, основанных на различных физических принципах. Наиболее широкое распространение получили расходомеры переменного перепада давления. Их принцип действия основан на зависимости перепада давления в устройстве, установленном в трубопроводе, от расхода. Главное преимущество всех расходомеров переменного перепада – конструктивная простота, отсутствие движущихся частей и высокая надежность.

При необходимости передачи показаний расходомера на значительные расстояния может использоваться вторичный преобразователь, который преобразует показания дифманометра в электрический сигнал. При наличии интегратора во вторичном преобразователе измеритель расхода может измерять также количество вещества, протекающего в заданные промежутки времени.

Наиболее значимой среди расходомеров переменного перепада давления является группа расходомеров с сужающими устройствами (СУ). Данные расходомеры нашли широкое применение в промышленности в качестве основных приборов для измерения расхода.

Принцип действия данных расходомеров основан на зависимости от расхода перепада давления, создаваемого в СУ, при этом часть потенциальной энергии потока переходит в кинетическую энергию.

При измерении массового расхода жидкостей, особенно агрессивных и нестабильных, необходимо знать значения ее плотности. Плотность зависит от температуры и давления в плоскости отверстий, предназначенных для отбора статического давления перед сужающим устройством.

Следует отметить, что измерение расхода агрессивных и токсичных жидкостей связано с определенными трудностями. Непосредственный контакт с такими жидкостями чрезвычайно нежелателен, поскольку они могут оказать негативное воздействие на здоровье человека, а также вызвать повреждения или загрязнения средств измерений. Например, перекись водорода (H_2O_2) используется в ракетно-космической технике и относится к высокоопасным жидкостям вследствие общетоксического и раздражающего действия, а также ее пожарной опасности [1].

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

При разработке расходомера для измерения массового расхода жидкостей необходимо учитывать ряд требований.

1. Достаточная точность измерения. В настоящее время разработаны расходомеры с погрешностью менее 0,2–0,5 %, однако для сред, когда текущая плотность неизвестна, точность таких измерителей намного ниже.

2. Надежность. Для измерения расхода жидкости, которая движется в трубопроводе, необходимо обеспечение повышенной надежности вследствие достаточно высокого рабочего давления, химической агрессивности среды и т. п. Данные требования сужают выбор возможных классов расходомеров, так как расходомеры с подвижными частями в потоке обладают меньшей надежностью.

3. Независимость результатов измерений от плотности жидкости. Решение задачи определения текущей плотности жидкости является наиболее важной задачей.

4. Быстродействие устройства для измерения расхода. Быстродействие важно при наличии колебаний расхода во времени.

5. Достаточно большой диапазон измерения, который определяется отношением максимального расхода к минимальному расходу. Большой диапазон измерения необходим, когда значения расхода могут меняться в значительных пределах.

Основные преимущества и недостатки различных СУ, которые необходимо учитывать при выборе типа расходомера, представлены в табл. 1.

Следует отметить, что за диафрагмой образуются завихрения, в которых величина статического давления может стать ниже давления насыщенного пара. Образуются кавитационные пузырьки газа, которые при схлопывании вызывают разрушение конструкционного материала. Образование микроповреждений способствует зарождению межкристаллитной коррозии материалов, которые в обычных условиях показывают высокую коррозионную стойкость по отношению к агрессивным жидкостям. Применение СУ на основе трубы Вентури исключает появление условий для кавитации.

Кавитация в нестабильных жидкостях (таких как H_2O_2) является фактором начала их разложения, так как из-за снижения статического давления в зоне турбулентности система нестабильной жидкости может отреагировать в направлении поддержания прежнего давления за счет вбрасывания в среду кислорода разложения:

$$H_2O_2 \leftrightarrow O_2 + H_2.$$

Таким образом, СУ на основе трубы Вентури является расходомером, в котором отсутствуют застойные зоны и зоны кавитации, поэтому для агрессивных и нестабильных жидкостей наиболее предпочтительной является применение в качестве СУ именно этот тип.

В соответствии с ГОСТ 8.586.1-2005 [2] труба Вентури – тип стандартного сужающего устройства, которое состоит из входного цилиндрического участка, сходящейся конической части (конфузора), горловины и расходящейся конической части (диффузора). Внешний вид сужающего устройства, выполненного по принципу трубы Вентури, показан на рис. 1.

Выбор геометрических параметров сужающего устройства необходимо производить согласно действующей нормативной документации и опыта гидравлических расчетов [3]. Геометрические параметры выбираются из соображений обеспечения необходимой точности измерений параметров потока жидкости. Следует отметить, что геометрические размеры устройства напрямую зависят от геометрических размеров трубопровода, в который встраивается сужающее устройство, по причине разного поджатия струи в зависимости от длины конфузорной части устройства.

Для непосредственного получения значений перепада давления, создаваемого с помощью сужающего устройства, к нему подсоединяется дифференциальный манометр.

Таблица 1

Качественные характеристики основных видов сужающих устройств для измерения расхода

Наименование типа СУ	Характеристика СУ	
	Достоинство	Недостаток
Диафрагма	Проста в изготовлении и монтаже, может применяться в широком диапазоне чисел Рейнольдса (Re). Устанавливают на трубопроводе с внутренним диаметром от 50 до 1000 мм. Неопределенность коэффициента истечения диафрагм меньше, чем у других СУ	В процессе эксплуатации неизбежно притупление входной кромки диафрагмы, что приводит к дополнительной прогрессирующей неопределенности коэффициента истечения, которая может быть существенной для диафрагм, устанавливаемых в трубопроводах диаметром менее 100 мм. Потери давления на диафрагмах выше, чем на других СУ
Эллипсное сопло	Обладает стабильными характеристиками при длительной эксплуатации. Потери давления на нем меньше, чем на диафрагме. Может иметь относительный диаметр отверстия до 0,8	Является сложным в изготовлении. Применяют только на ИТ внутренним диаметром не более 630 мм. Отсутствуют экспериментальные данные по их исследованию при $Re > 10^7$. Неопределенность коэффициента истечения достигает 2 %
Сопло Вентури	Обладает стабильными характеристиками при длительной эксплуатации расходомера. Потери давления на нем значительно меньше, чем на диафрагме и эллипсном сопле. Коэффициент истечения не зависит от числа Re	Является сложным в изготовлении. Имеет узкий диапазон применения по числам Re. Имеет большую неопределенность коэффициента истечения
Труба Вентури	Обладает стабильными характеристиками при длительной эксплуатации. Потери давления значительно меньше, чем на диафрагме и в сопле, а в некоторых случаях меньше, чем в сопле Вентури. Требуются короткие прямолинейные участки трубопровода. В проточной части отсутствуют застойные зоны, где могут скапливаться осадки. Допускается к применению в трубопроводах внутренним диаметром до 1200 мм	Является сложным в изготовлении и имеет большие размеры

Для подсоединения дифференциального манометра предусматривается восемь штуцеров, расположенных по четыре в двух сечениях. Первое сечение находится на расстоянии половины внутреннего диаметра трубопровода от входа в конфузорную часть сужающего устройства, второе сечение – непосредственно посередине узкой части сужающего устройства. При этом штуцеры расположены в радиальной плоскости под углом 90^{o} друг к другу и, соответственно, в двух взаимно перпендикулярных меридиональных плоскостях. Такое размещение приемных штуцеров продиктовано необходимостью более равномерного отбора давления из трубопровода в связи со значимой разницей в фазовом составе потока в поперечном сечении трубопровода. Приемные штуцеры впоследствии сообщаются таким образом, чтобы к датчику давления подключалась лишь одна пара трубок – по одной трубке от каждого сечения.

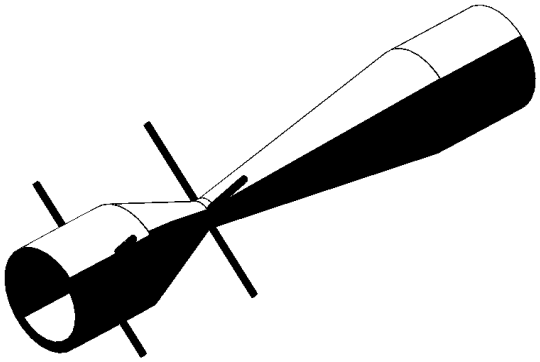


Рис. 1. Общий вид сужающего устройства

Анализ показал, что сужающее устройство (труба Вентури) может быть включено в измерительный комплекс, включающий в себя следующие элементы: измерительный трубопровод, сужающее устройство, дифманометр с электрическим выходным унифицированным сигналом.

Такой состав комплекса позволит при принятии соответствующих допущений по перепаду давления измерять расход проходящей через сужающее устройство жидкости.

МАССОВЫЙ РАСХОДОМЕР ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ТРУБЫ ВЕНТУРИ

Для измерения массового расхода разработан расходомер жидкостей, его принципиальная схема показана на рис. 2. Расходомер жидкостей включает трубу Вентури 1; дифманометр 2, по величине показаний которого определяется объемный расход жидкости; измерительный трубопровод 13, оборудованный запорно-регулирующей арматурой на входе и выходе из него; пьезоэлектрический преобразователь 9, установленный на измерительном трубопроводе; генератор ультразвуковых импульсов 8 и обрабатывающее устройство 6 электрических сигналов принимаемых отраженных импульсов, связанных с пьезоэлектрическим преобразователем; также в схему включен датчик отметки времени 5 и микроконтроллер 4, обрабатывающий полученные данные, который определяет по скорости прохождения ультразвуковой волны плотность жидкости и величину ее массового расхода путем вычисления произведения объемного расхода на плотность.

Массовый расходомер жидкостей работает следующим образом. При измерении объемного расхода жидкости с помощью трубы Вентури 1 создается местное сужение потока, часть потенциальной энергии которого переходит в кинетическую энергию. Средняя скорость потока в месте его сужения повышается, а статическое давление становится менее статического давления до трубы Вентури 1. Разность давления (перепад давления) измеряется дифманометром 2, по величине показаний которого определяется объемный расход жидкости. Данные с дифманометра поступают в микроконтроллер 4.

Для измерения плотности жидкости измерительный трубопровод 13 заполняется ею путем ответвления части общего потока. Для регулирования подачи жидкости измерительный трубопровод 13 оборудован запорно-регулирующей арматурой на входе (клапан 3) и выходе (клапан 7) из него. С этой целью клапан 7 открывается, а клапан 3 закрывается. Потом клапан 3 открывается и после заполнения жидкостью измерительного трубопровода 13 последовательно закрываются клапаны 7 и 3.

Производится измерение плотности жидкости.

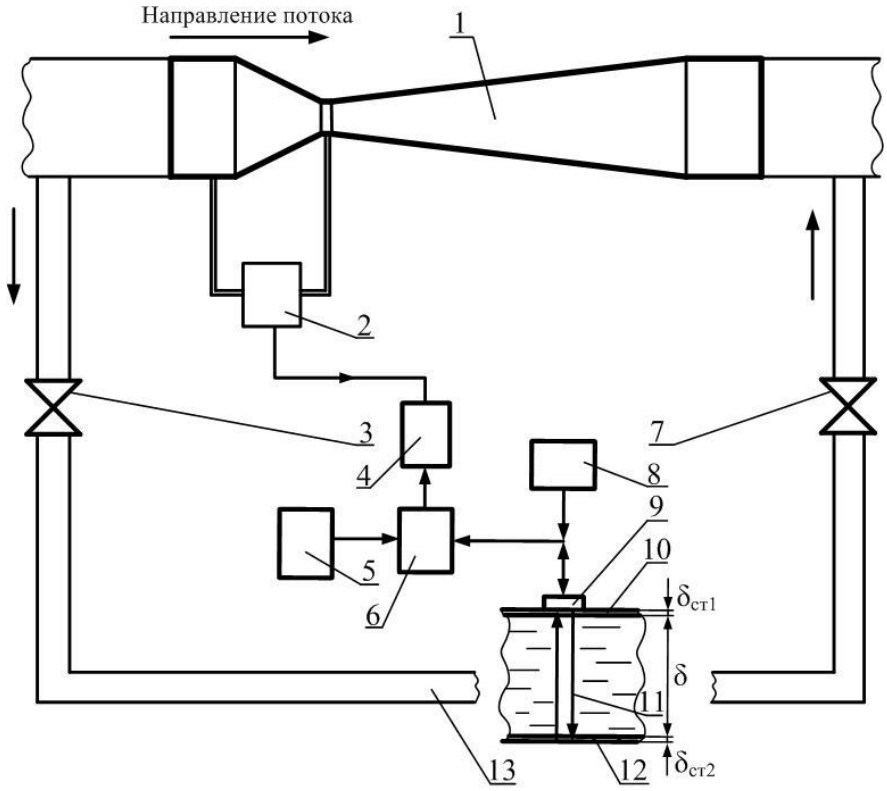


Рис. 2. Принципиальная схема массового расходомера жидкостей

Снаружи стенки измерительного трубопровода установлен пьезоэлектрический преобразователь, работающий в импульсном режиме по совмещенной схеме [4]. При обеспечении акустического контакта между преобразователем и стенкой испускаемый импульс ультразвуковой продольной волны пересекает первую стенку, слой жидкости и вторую стенку. После отражения от границы раздела «стенка – воздух» ультразвуковой импульс принимается пьезоэлектрическим преобразователем. Пьезоэлектрический преобразователь связан с генератором ультразвуковых импульсов, обрабатывающим устройством электрических сигналов принимаемых отраженных импульсов. В схему включен также датчик отметки времени, который контролирует время прохождения прямого и отраженного импульсов.

Суммарное время прохождения прямого и отраженного импульсов [5] определяется выражением

$$t_{\Sigma} = 2\left(t_{ст1} + t + t_{ст2}\right),$$

где t – время однократного прохождения ультразвукового импульса через слой исследуемой жидкости, с;

$t_{ст1}$, $t_{ст2}$ – время однократного прохождения ультразвукового импульса через стенку 10 и стенку 12 (см. рис. 2) соответственно, с.

Время однократного прохождения ультразвукового импульса через слой исследуемой жидкости составит величину

$$t = \frac{t_\Sigma}{2} - t_{ст1} - t_{ст2}\,.$$

Следует учесть, что

$$t = \frac{\delta}{C},$$

где δ – толщина слоя исследуемой жидкости, м.

Кроме того,

$$t_{ст1} = \frac{\delta_{ст1}}{C_{ст1}},\ t_{ст2} = \frac{\delta_{ст2}}{C_{ст2}},$$

где $\delta_{ст1}$, $\delta_{ст2}$ – толщины стенок 10 и 12 (рис. 2) соответственно, м;
$C_{ст1}$, $C_{ст2}$ – скорость звука в материале стенки 10 и стенки 12 (см. рис. 2) соответственно, м/с.

Скорость звука в исследуемой жидкости определим с помощью соотношения

$$C = \frac{\delta}{t},$$

которое после раскрытия значения t принимает следующий вид:

$$C = \frac{\delta}{\frac{t_\Sigma}{2} - t_{ст1} - t_{ст2}},$$

или в окончательной форме после раскрытия значений $t_{ст1}$ и $t_{ст2}$

$$C = \frac{\delta}{\frac{t_\Sigma}{2} - \frac{\delta_{ст1}}{C_{ст1}} - \frac{\delta_{ст2}}{C_{ст2}}}.$$

С обрабатывающего устройства 6 электрических сигналов принимаемых отраженных импульсов и дифманометра 2 данные поступают в микроконтроллер 4, обрабатывающий полученные данные, который определяет по скорости прохождения ультразвуковой волны плотность жидкости и величину массового расхода жидкости путем вычисления произведения объемного расхода на плотность.

Затем клапан 7 открывается. Цикл измерений повторяется.

Были проведены расчеты (в среде Ansys), демонстрирующие возможность применения массового расходомера различных жидкостей, особенно агрессивных и нестабильных, с помощью сужающего устройства на основе трубы Вентури на примере перекиси водорода.

Принятые при расчете физические свойства жидкости показаны в табл. 2. На рис. 3–6 представлены результаты расчетов.

Таблица 2

Физические свойства перекиси водорода

Вещество	ρ, кг/м^3	υ, Па·с	C_p, Дж/(кг·К)	λ, Вт/(м·К)	T, К
H_2O_2	1450	0,86	2390	0,55	293

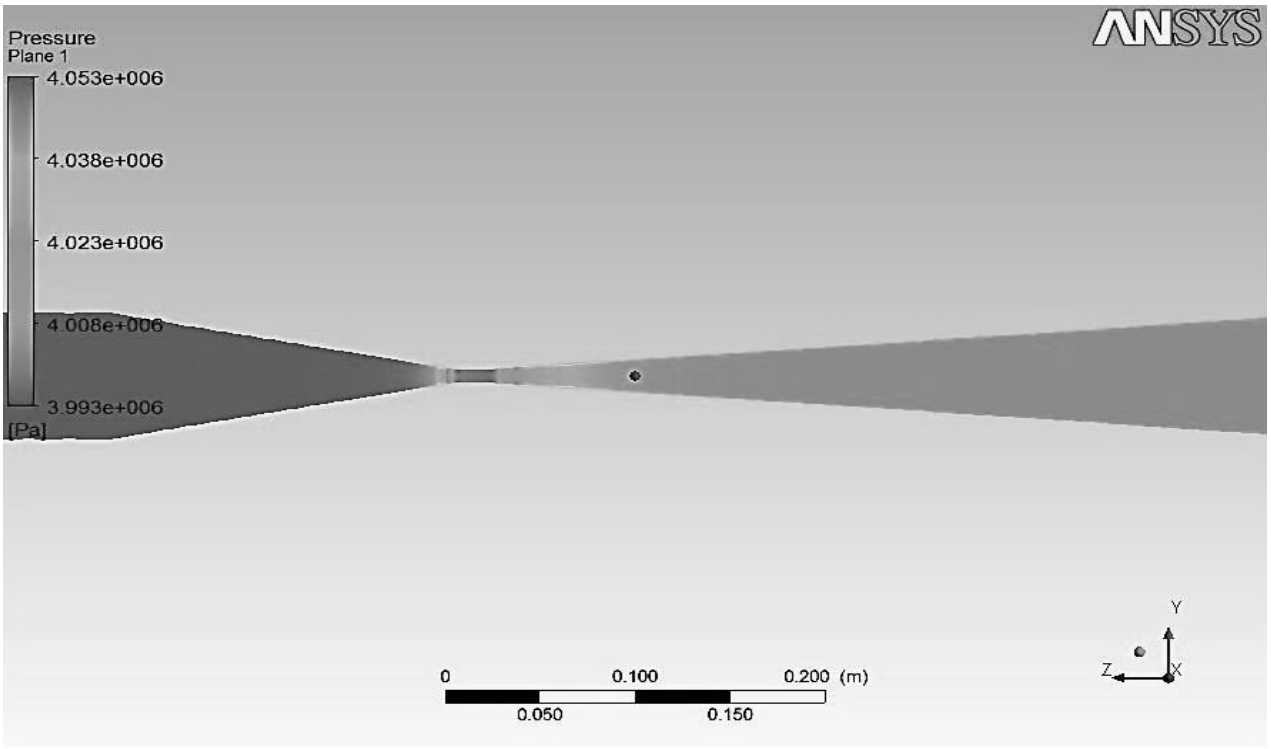


Рис. 3. Расчетные распределения давления

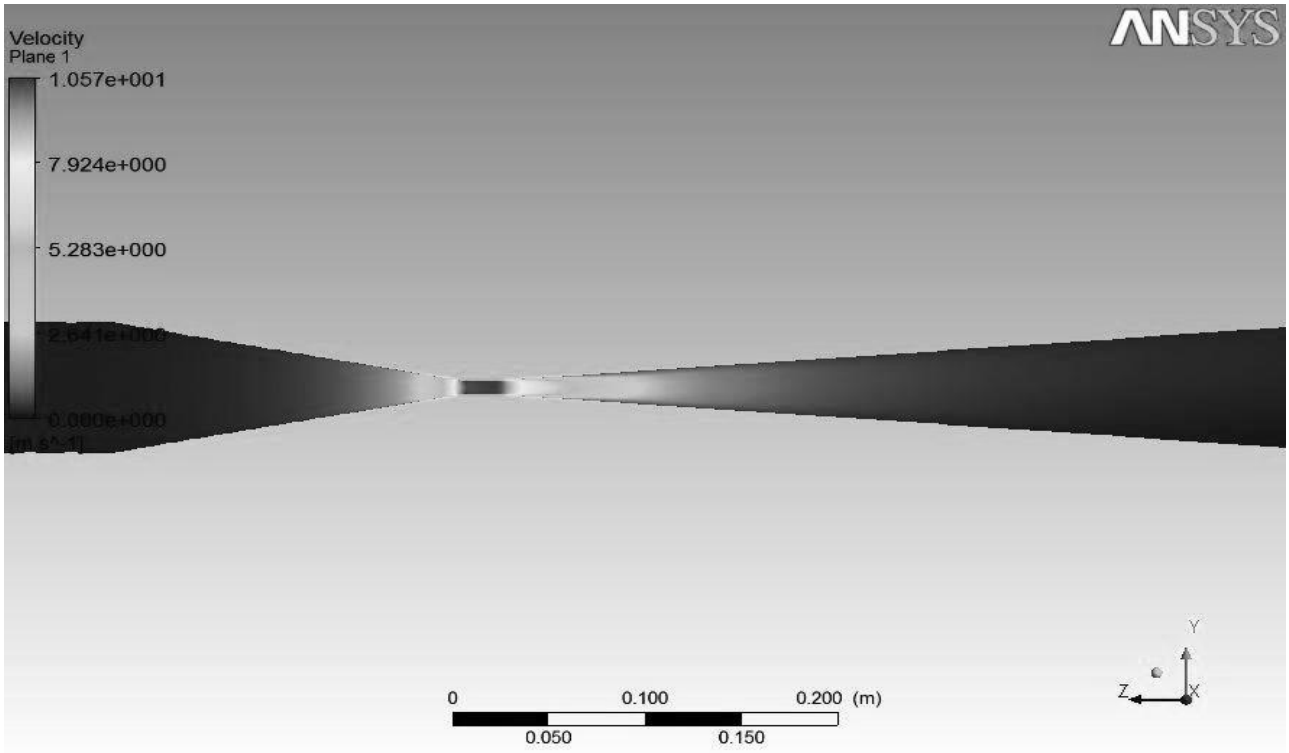


Рис. 4. Расчетные распределения скорости

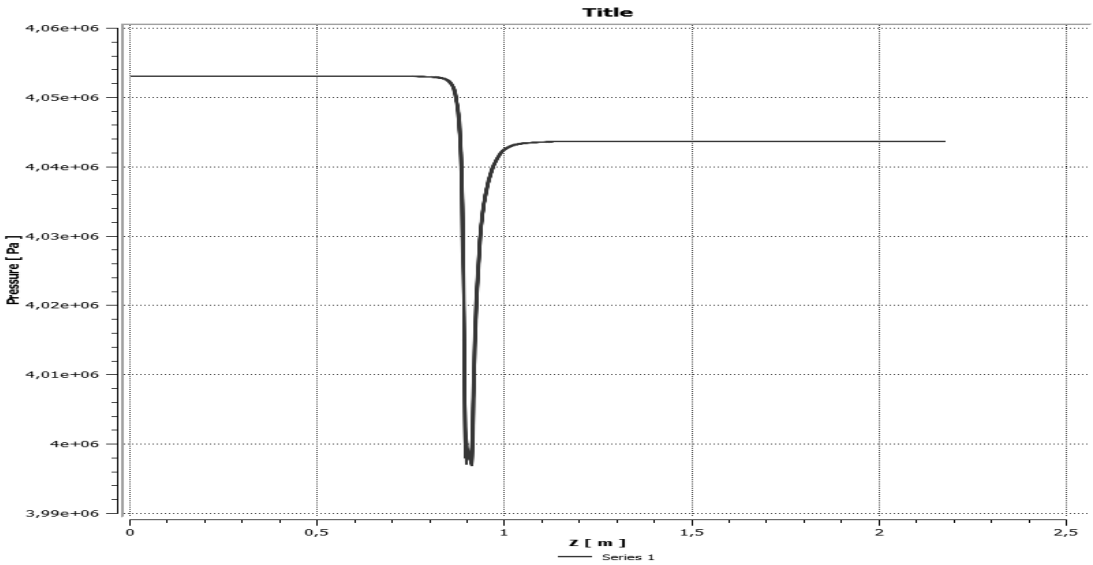


Рис. 5. Распределение давления по длине

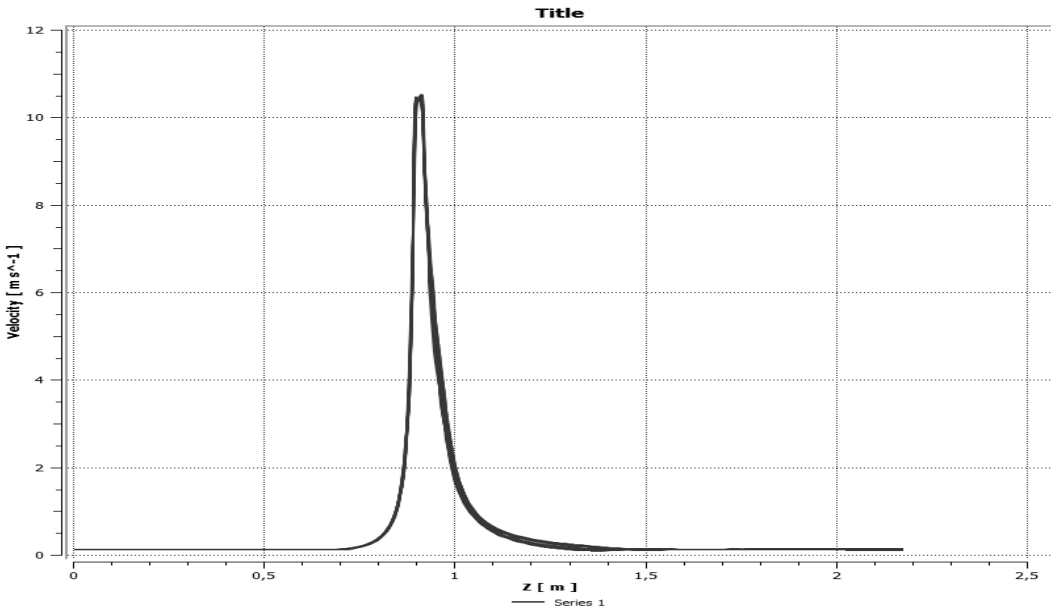


Рис. 6. Распределение скорости по длине

Для определения значения плотности ρ и скорости звука C в зависимости от концентрации K перекиси водорода были проведены экспериментальные исследования [5].

Для определения величины t_{Σ} в образцах использовали ультразвуковые импульсы длительностью порядка 2 мкс с заполняющей частотой 10 МГц. Значения величин δ, $\delta_{ст1}$, $\delta_{ст2}$, $C_{ст1}$ и $C_{ст2}$ определяли в ходе предварительных измерений. Измерения проводили при температуре жидкости 20 °С.

Перекись водорода находит применение в виде водных растворов различной концентрации. Физические свойства раствора перекиси водорода существенно зависят от концентрации. В частности, в диапазоне концентрации от 0 до 100 % плотность раствора изменяется в пределах от 0,998 до 1,450 г/см^3.

Исследования показали наличие ярко выраженной зависимости между скоростью звука и концентрацией перекиси водорода.

Полученные экспериментальные данные аппроксимировали квадратичной зависимостью [5]

$$C = 0{,}0116K^2 + 2{,}2331K + 1482 \text{ [м/с]}.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе выполнения исследований было проведено экспериментально-теоретическое обоснование облика массового расходомера переменного перепада давления с помощью сужающего устройства на основе трубы Вентури. Предлагаемый массовый расходомер представляет собой измерительный комплекс, включающий следующие основные элементы: измерительный трубопровод, сужающее устройство, дифманометр с электрическим выходным унифицированным сигналом, устройство для измерения плотности жидкости. Предлагаемый массовый расходомер, использующий сужающее устройство на основе трубы Вентури, обладает повышенной точностью дозирования за счет учета плотности жидкости и универсальностью благодаря комбинированному составу расходомера, в конструкции которого меняется только СУ, рассчитанное под конкретные параметры.

Список используемых источников

1. *Шамб У., Сеттерфилд Ч., Вентворс Р.* Перекись водорода. – М.: Иностранная литература, 1958. – 579 с.

2. ГОСТ 8.586.1–2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. – М.: Стандартинформ, 2007. – Ч. 1: Принцип метода измерений и общие требования. – 41 с.

3. ГОСТ 8.586.4–2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. – М.: Стандартинформ, 2007. – Ч. 4: Трубы Вентури. Технические требования. – 21 с.

4. *Бергман Л.* Ультразвук и его применение в науке и технике. – М.: Иностранная литература, 1956. – 726 с.

5. *Полупан А.В., Наумчик И.В., Светлорусов М.А.* Определение скорости звука в азотном тетраоксиде и водных растворах перекиси водорода // Контроль. Диагностика. – 2011. – № 2. – С. 40–44.

В.Я. Пророк,
доктор техн. наук, профессор;
Ю.Ю. Охотников;
И.В. Чешев

ОПТИМАЛЬНЫЙ ПОРЯДОК ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Оптимальная организация тестовых проверок предполагает упорядоченное использование тестов, при котором классы состояний технических систем, входящих в состав радиолокационной станции специального назначения, выявляются с меньшими затратами. Решение этой задачи предполагает учет априорных данных о наиболее вероятном состоянии объекта исследования, а также возможную нечеткость полученных результатов. Эффективным методом решения задачи планирования тестовых проверок этих технических систем является метод, основанный на последовательном применении процедуры принятия решений при нечетком отношении предпочтения на множестве альтернатив.

Ключевые слова: сложная техническая система, радиолокационная станция специального назначения, нечеткое отношение предпочтения, тестовая проверка, нечеткие множества.

Важнейшей задачей эксплуатации радиолокационной станции специального назначения является поддержание ее в работоспособном состоянии. Для своевременного и оптимального выявления возможных неисправностей и регулярной верификации информационного взаимодействия всех технических систем радиолокационной станции специального назначения необходимо создание эффективной методики диагностирования технического состояния этих систем.

При диагностировании радиолокационной станции специального назначения, являющейся сложной технической системой, важное значение приобретает порядок применения выбранных тестовых проверок с учетом имеющихся средств и временных ресурсов, отпускаемых на определение технического состояния всех систем, входящих в состав радиолокационной станции специального назначения.

Пусть задано множество $E = \{e_i\}\Big|_1^m = i$ различных классов состояния системы. В данном случае под классом понимается определенный вид состояния, определяющий, в том числе, и состояние, при котором система должна быть признана неработоспособной.

Пусть также определено множество тестовых проверок $\Pi = \{\pi_j\}\Big|_1^n = j$, определяющих различные классы состояний, то есть выполняется условие:

$$\forall e_i, e_f \in E, i \neq f \; \exists \pi_j \in \Pi : e_{ij} \neq e_{fj}.$$

Каждая из тестовых проверок $\pi_j \in \Pi$ может давать ω_k исходов. Условие, записанное выше, в этом случае означает, что в заданном множестве Π найдется по крайней мере одна проверка, которая дает различные исходы при состояниях, принадлежащих разным классам. Полагаем также известными цены проверок $C(\pi_j)$. Требуется при указанных условиях найти для каждого класса упорядоченное подмножество проверок такое, чтобы

$$\Pi_i = \{\pi_j \in \Pi / \forall e_i \, E, \forall e \, f \in E \setminus \{e_i\}; \; e_{ij} \neq e_{fj}\} \qquad (1)$$

и чтобы это подмножество удовлетворяло заданным требованиям оптимальности [1].

Упорядоченность здесь понимается в том смысле, что порядок расположения проверок в подмножестве Π_i не произвольный, а соответствует очередности их выполнения в процессе определения класса состояния. Выполнение условия (1) гарантирует, что подмножество выбранных проверок П* обеспечит распознавание (с определенной достоверностью) любого состояния. Подмножество проверок П* в сочетании с правилами, определяющими порядок их выполнения, образуют алгоритм тестирования. Процедура выявления класса в соответствии с алгоритмом определяется так: выполняется первая выбранная проверка $\pi_1 \in \Pi$, анализируются ее результаты и на основании этого выбирается вторая проверка $\pi_2 \in \Pi$. Любая из последующих проверок $\pi_j \in \Pi$ выбирается в зависимости от исхода предшествующей проверки $\pi_{j-1} \in \Pi$ [1].

Таким образом, распознавание классов состояния системы представляет собой эксперимент, связанный с проведением ряда тестовых проверок, исходы которых заранее невозможно предсказать. На каждом шаге тестирования принимается решение о применении того или иного теста из подмножества П*, а по исходам тестирования определяется принадлежность системы к тому или иному классу из множества Е.

При решении подобных задач возникает необходимость вычисления показателя, характеризующего наиболее вероятное состояние системы.

Множество возможных состояний представляется как множество альтернатив допустимых решений. В зависимости от имеющейся информации это множество удается описать с той или иной степенью четкости. Пусть, например, X – некоторое универсальное множество альтернатив (множество возможных состояний) и $\mu(x)$ – нечеткое описание его подмножества допустимых альтернатив. Значения функции $\mu(x)$ описывают степень допустимости соответствующих альтернатив в задаче выбора того или иного решения.

Если кроме этой функции нет другой информации об исследуемой реальной ситуации, то оптимальным остается считать выбор любой альтернативы из множества X_1 [2]:

$$X_1 = \{x / x \in X,\ \mu(x) = \sup_{Y \varepsilon X} \mu(y)\},$$

т. е. любой альтернативы, имеющей максимальную степень допустимости, поскольку нет оснований предпочесть какую-либо из этих альтернатив остальным. Однако такой способ описания реальной информации, как правило, невозможен, особенно в ситуациях выбора предполагаемого состояния системы ввиду отсутствия четких критериев их оценки.

Более универсальным и практически осуществимым является описание информации в форме отношения предпочтения во множестве альтернатив. Это значит, что в отношении любой пары альтернатив *X, Y* высказано одно из следующих утверждений:

X не хуже *Y*, т.е. $X \geq Y$;
Y не хуже *X*, т.е. $X \leq Y$;
X и *Y* сравнимы между собой.

При описании имеющихся знаний о реальной ситуации наиболее гибким способом формализации этих знаний представляется такой, при котором имеется возможность описывать степень своей убежденности в предпочтениях между альтернативными числами из интервала [0,1]. В результате выявляется нечеткое отношение предпочтения (НОП) во множестве альтернатив, в котором каждой паре альтернатив *(X,Y)* соответствует число, описывающее степень выполнения предпочтения $X \geq Y$.

Если $\mu_R(X,Y)$ – НОП на множестве альтернатив X, то для любой пары альтернатив $x, y \in X$ значение $\mu(x,y)$ понимается как степень выполнения предпочтения X не хуже Y или $X \geq Y$.

Параметр $\mu_R(X,Y)$ определяется как функция принадлежности отношения *R*. Дадим определения функций принадлежности нечеткого отношения безразличия и нечеткого отношения предпочтения:

$$\mu_R^S(X,Y)=\begin{cases}\mu_R(X,Y)-\mu_R(Y,X), & \text{при } \mu_K(X,Y)\geq\mu_R(Y,X);\\ 0, & \text{при } \mu_K(X,Y)\langle\ \mu_R(Y,X).\end{cases}$$

Величина $\mu_R(X,Y)$ есть степень, с которой альтернатива *y* доминируется альтернативой *x*.

Для выделения в *X* подмножества всех альтернатив, каждая из которых не доминируется ни одной альтернативой, нужно взять пересечение множеств вида $\mu_R^S(x,y)$ по всем $y\in X$. Это пересечение называется нечетким подмножеством недоминируемых альтернатив и обозначается $\mu_R^{нд}$. Учитывая определение пересечения нечетких множеств, получим

$$\mu_R^{НД}(x)=1-\sup_{y\varepsilon X}[\mu_R(Y,X)-\mu_R(X,Y)],$$

Поскольку величина $\mu_R^{НД}(X)$ есть степень недоминируемости альтернативы *X*, то оптимальным при заданной нечеткой информации естественно считать выбор альтернатив, имеющих большую степень принадлежности к нечеткому множеству $\mu_R^{НД}$, т. е.

$$X^{НД}=\{X/x\in X,\ \mu_R^{НД}(X)=\sup\mu_R^{НД}(X)\},$$

Элементы множества $X^{НД}$ называются максимальными недоминируемыми альтернативами множества $(X,\ \mu_R)$.

Для альтернатив $x\in X$, для которых выполнено условие $\mu_R^{НД}(x)=1$, ни одна альтернатива не превосходит с положительной степенью данную альтернативу *x*. Альтернативы, отвечающие подобным условиям, определяются как четко не доминируемые альтернативы и рассматриваются как четкое решение нечетко поставленной задачи.

Таким образом, задача будет состоять в выборе такой альтернативы $x\in X$ во множестве возможных, для которых степень принадлежности к нечеткому множеству недоминируемых альтернатив будет максимальна. Если подобных альтернатив несколько, то для выбора конкретной из них привлекается дополнительная информация.

Алгоритм решения задачи, учитывая приведенные выше определения, можно представить как последовательность действий.

Шаг 1. Определяются начальные значения нечеткого отношения предпочтения μ_{R1}.

Шаг 2. Рассчитываются значения нечеткого отношения предпочтения представленных альтернатив состояний системы:

$$\mu_R^S(X,Y)=\begin{cases}\mu_R(X,Y)-\mu_R(Y,X), & \text{при } \mu_K(X,Y)\geq\mu_R(Y,X);\\ 0, & \text{при } \mu_K(X,Y)\langle\ \mu_R(Y,X).\end{cases}$$

Шаг 3. Определяется функция принадлежности нечеткого множества недоминируемых альтернатив классификации их предполагаемого состояния, т. е

$$\mu_R^{НД}=1-\sup_{y\in E}\left\{\ \mu_R\left(Y,e_i^{'}\right)-\mu_R\left(e_i^{'},y\right)\right\},\quad e_i^{'},y\in E,$$

где $e_i^{'}$ – возможная область попадания результатов тестирования на классификационной шкале (число элементов множества $E^{'}=m+1$), где *m* – число классов состояний.

Шаг 4. Для определения порядка применения тестов используется информационно-стоимостной показатель:

$$F_k(\pi_j) = \frac{J_k(\pi_j)}{C(\pi_j)}, \quad (2)$$

где $J_k(\pi_j)$ – показатель информативности проверки,

$$J_k(\pi_j) = \left(\sum_{i=1}^{m+1} P_j^i * \mu_R^{НД}(e_i^{'}) \right) / \sum_{i=1}^{m+1} \mu_R^{НД}(e_i^{'});$$

$C(\pi_j)$ – цена выбранной проверки.

Шаг 5. Проверки в каждом состоянии синтезируемого алгоритма выбираются из условия обеспечения максимального значения информационно-стоимостного показателя (2), т. е.

$$\Pi_i = \left\{ \pi_j \in \Pi_k / F_k(\pi_j) = \max_{\pi_s \in \Pi_k} F_k(\pi_s) \right\},$$

где Π_k – множество разрешенных проверок в состоянии S_k, определяемое по формуле

$$\Pi_k = \left\{ \pi_j \in \Pi / \exists e_i, e_f \in S_k : e_{ij} \neq e_{fj} \right\}.$$

Рассмотренный алгоритм является основой для методики оптимального планирования поэтапного исследования технических объектов различного назначения [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика позволяет на основе имеющихся априорных данных синтезировать оптимальную с точки зрения информационно-стоимостных затрат программу тестовой проверки технического состояния всех систем радиолокационной станции специального назначения. При этом методика позволяет оперативно производить коррекцию в ходе исследования характеристик технических систем при получении новых исходных данных. Она обладает необходимой гибкостью в различных условиях проведения тестирования технических систем радиолокационной станции специального назначения с учетом имеющихся средств и временных ресурсов, отпускаемых на определение работоспособности.

Методологическая основа предложенной методики не зависит от конкретного содержания тестовых проверок и процесса проводимых испытаний. Это в значительной степени расширяет область ее применения и позволяет использовать данную методику для рационального планирования поэтапного исследования технических объектов различного назначения.

Список используемых источников

1. *Багрецов С.А., Везиров В.Н., Львов В.М.* Технология синтеза организационных структур сложных систем управления – М.: Эргоцентр, 1998. – С. 110–130.

2. *Багрецов С.А., Любивая Г.В., Попов Г.М.* Оценка меры близости ответа обучаемого и эталона в контролирующих процедурах АОС. – Л.: ПВУРЭ, 1989. – С. 50–54.

3. *Виноградeнко А.М.* Разработка способа прогнозирования предаварийного состояния технологических объектов. – СПб.: НТОРЭС, 66-я НТК, 2011. – С.161–162.

4. *Давыдова Т.И.* Обоснование состава комплекса систем испытаний, технического обслуживания, контроля, восстановления работоспособности, диагностирования и ремонта радиотехнической аппаратуры автоматизированного комплекса обмена информации и требований к ним // Труды ВМИРЭ им. А.С. Попова. – 2010. – №1(5). – С.104–107.

5. *Дмитриев А.К.* Распознавание отказов в системах электроавтоматики. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – С. 65–70.

С.М. Дарвейш;
А.Н. Добролюбов,
кандидат техн. наук;
Е.Л. Лебедев,
доктор техн. наук, доцент;
Н.С. Самойлов,
доктор техн. наук, профессор

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «МИКРО-АНАЛИЗ Pro» ДЛЯ АНАЛИЗА ФАЗОВОГО СОСТАВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ АЛЮМИНИЯ

В работе представлен анализ фазового состава углеродистых сталей с различным содержанием алюминия, выполненный с использованием программы анализа изображений «Микро-Анализ Pro». Доказано, что при определенном содержании алюминия наблюдается максимальная ферритная составляющая, обеспечивающая повышение пластичности данной стали и ее коррозионной стойкости. Впервые введен показатель качества стали, а именно отношение медианы к моде гистограммы изображения шлифа данной стали.

Ключевые слова: трип-сталь, фазовый состав, микрофрактографический анализ.

Необходимость проведения описываемых в работе исследований заключается в том, что, даже зная химический состав конструкционных металлических материалов, не всегда возможно оценить их эксплуатационные характеристики (прочность, пластичность, коррозионную стойкость и др.). Данные характеристики в основном определяются фазовым составом исследуемых сплавов и сталей, который может значительно меняться при незначительном изменении их химического состава.

В частности, при анализе малоуглеродистых сталей (С=0,088-0,094%) с содержанием алюминия и кремния (трип-сталей) наблюдается зависимость их эксплуатационных характеристик от процентного содержания алюминия. Так, при изменении содержания алюминия от 0,031 % до 0,062 % происходит снижение прочностных характеристик, однако наблюдается увеличение характеристик пластичности и коррозионной стойкости. Дальнейшее повышение процентного содержания алюминия приводит к обратному, а именно, к повышению прочности и снижению пластичности и коррозионной стойкости. Было предположено, что полученные характеристики исследуемых трип-сталей определяются изменением их фазового состава.

Для подтверждения приведенного выше предположения был проведен микрофрактографический анализ фазового состава с использованием микроскопа «Метам-РВ» при увеличении от 300× до 450×. Шлифы исследуемых поверхностей выполнялись согласно методике, указанной в [1]. Однако видимые в объектив микроскопа изображения не позволили идентифицировать четкие фазовые различия сплавов в зависимости от содержания алюминия. Это объясняется тем, что фазовые включения на исследуемой поверхности имеют сложную форму, различные цветовые оттенки, и при общем их отличии провести идентификацию посредством традиционной оптической системы микроскопа и человеческого глаза затруднительно. Поэтому для решения данного вопроса была применена программа анализа изображений «Микро-Анализ Pro» [2]. Для работы данного программного обеспечения микроскоп был оснащен видеокамерой, преобразующей видимое в объективе микроскопа изображение в цифровой сигнал, который и подвергался дальнейшему анализу.

Одним из наиболее важных условий применения программы анализа изображений являлось получение четких фотографий. Необходимо отметить, что внутренний пакет «Микро-Анализ Pro» – «MC-foto» позволяет делать фотографии с разрешением 2592×1944 пикселей, при этом появляется возможность удалять (обрезать) «смазанные» участки. Кроме того, важным является то, что все фотографии должны быть одного размера, сняты при одинаковых настройках видеокамеры и при одном освещении. Для выполнения данных условий все фотографии были выполнены последовательно за один заход с разрешением 780×900 пикселей, что вполне достаточно для работы программы анализа изображений «Микро-Анализ Pro» (рис. 1).

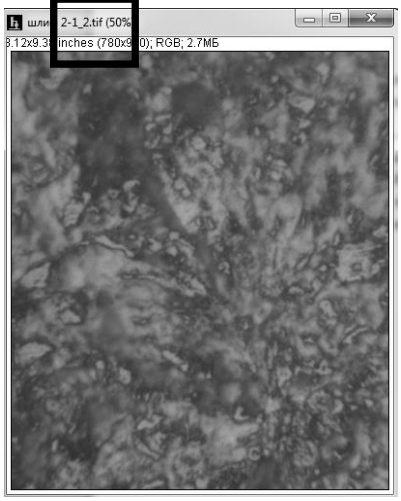
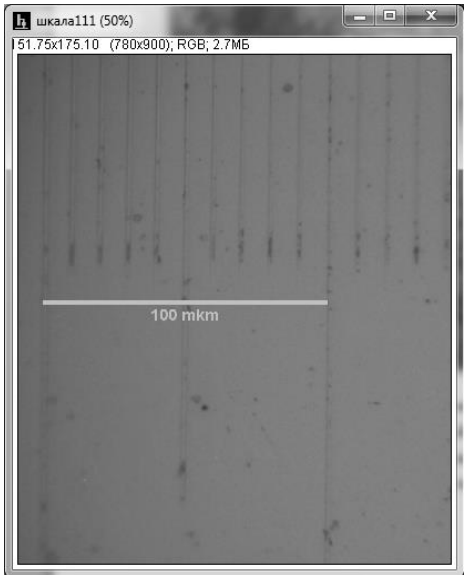


Рис. 1. Изображение поверхности шлифа исследуемых сплавов

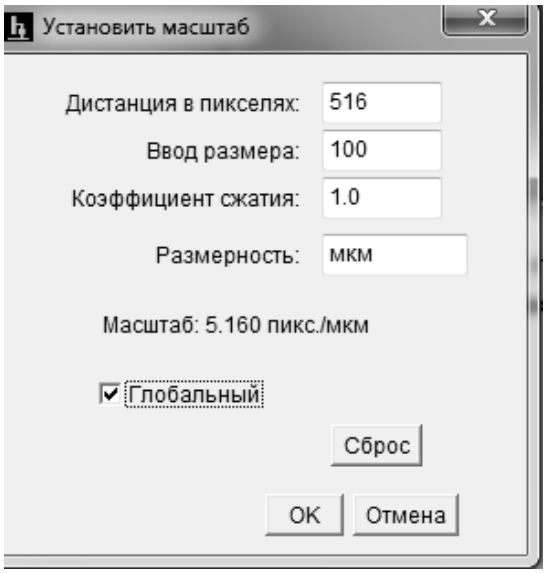
Одним из отличительных признаков фазового анализа исследуемых сплавов является различие площадей ферритных (светлых) участков, видимых на изображении. Однако для этого необходимо выполнить масштабирование получаемого изображения.

Применяемый программный пакет использует любые единицы длины, и у него нет стандартной привязки изображения в пикселях к известным линейным размерам, которые зависят от конкретной оптической системы микроскопа. Поэтому необходимо использовать микрометрическую шкалу, полученную с тем же разрешением, что и анализируемые изображения 780×900 пикселей (рис. 2, а).

Для масштабирования на изображении шкалы с помощью средств программного обеспечения была проведена линия между соответствующими рисками (рис. 2, а). При использовании функций «Анализ – Установить масштаб» в окне «Дистанция в пикселях» появлялся результат измерения этой линии в пикселях. В окне «Ввод размера» вводился действительный размер, в данном случае 100 мкм. Затем ставилась галочка в поле «Глобальный» для привязки масштаба ко всем изображениям (рис. 2, б).



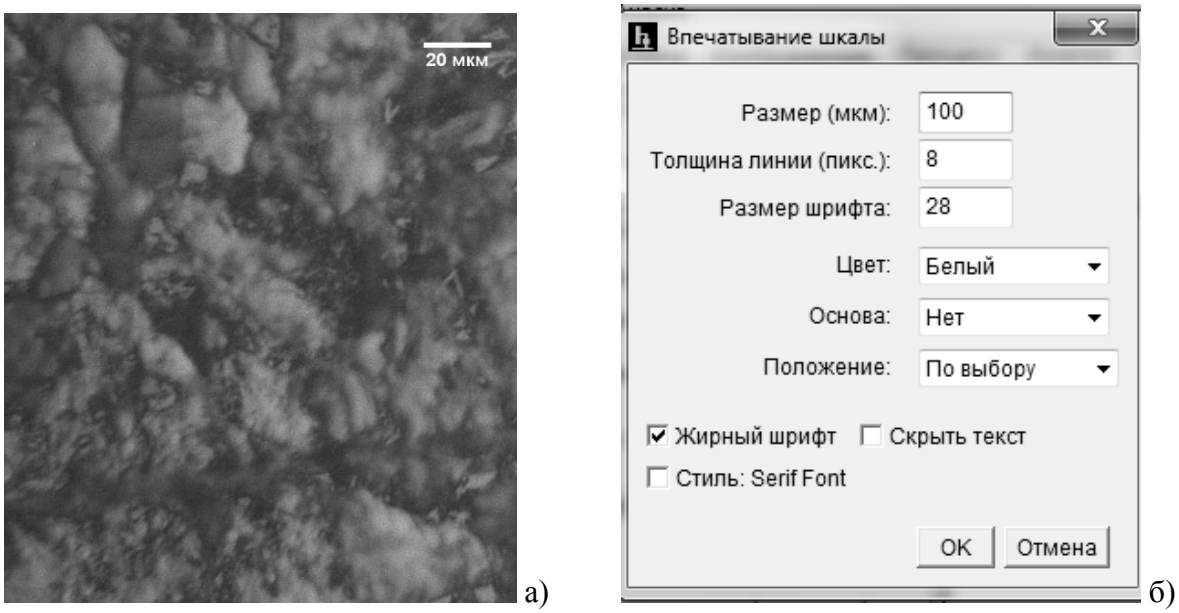
а)



б)

Рис. 2. Изображение шкалы с разрешением 780×900 пикселей с линией между соответствующими рисками (а) и диалоговое окно программы анализа изображений «Микро-Анализ Pro» при масштабировании изображений (б)

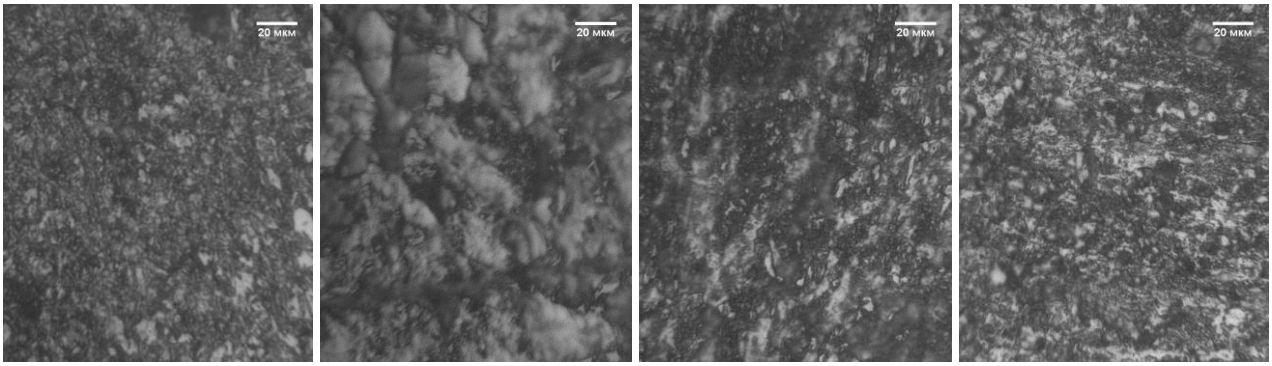
Для отображения размерной шкалы на изображении использовалась функция «Анализ – Впечатывание шкалы» (рис. 3).



а) б)

Рис. 3. Изображение с отображением размерной шкалы (а) и диалоговое окно программы анализа изображений «Микро-Анализ Pro» при впечатывании шкалы (б)

Фазовый анализ выполнялся для 4 шлифов трип-сталей с содержанием алюминия 0,031, 0,062, 0,091 и 0,120 %. Для обобщения полученных данных было выполнено 5 фотографий различных участков каждого шлифа. Для придания большей четкости изображениям была использована функция «Процесс – Резкость», что обеспечило необходимую четкость изображения без потери ее качества (рис. 4).



а) б) в) г)

Рис. 4. Фотографии шлифов исследуемых сплавов:
а – шлиф 1 (0,031 %Al); б – шлиф 2 (0,062 %Al); в – шлиф 3 (0,091%Al);
г – шлиф 4 (0,120 %Al)

При выполнении фазового анализа строится поверхностный график изображения шлифа, который представляет собой трехмерный график интенсивности пикселей в сером или псевдоокрашенном изображении. Для этого использовалась функция «Анализ – Поверхностный график» (перед построением поверхностного графика необходимо было перевести изображение в 8-битное: «Изображение – Тип – 8-бит»).

Виды поверхностного графика исследуемых сталей показаны на рис. 5, при этом максимальные значения уровня яркости (пики) соответствуют ферритным (светлым) участкам

шлифа, а впадины соответствуют темным участкам шлифа, отражающим наличие химических соединений Fe_3C и др.

Сравнение данных поверхностных графиков позволило сделать вывод о том, что структура 2-го шлифа более однородна. Об этом свидетельствуют плавные переходы поверхностного графика.

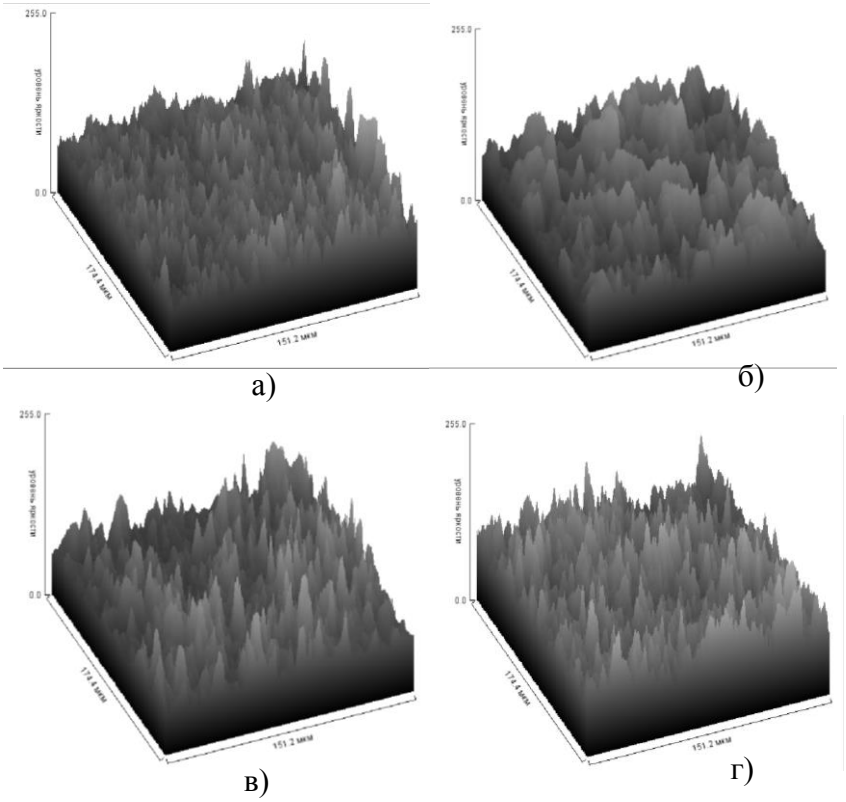


Рис. 5. Поверхностные графики:
а – шлифа 1; б – шлифа 2; в – шлифа 3; г – шлифа 4

Кроме того, наличие поверхностного графика позволило выполнить анализ частиц исследуемой поверхности и оценить площадь каждой частицы, а значит и общую площадь каждой фазы, к которой относятся частицы с различным уровнем яркости (зная уровень яркости каждой частицы, ее площади и координаты). Для этого исследуемое изображение необходимо было преобразовать в маски, используя функцию «Процесс – Бинаризация – Преобразовать в маски» (рис. 6, а) и установить параметры измерения «Анализ – Установить параметры измерения» (рис. 6, б).

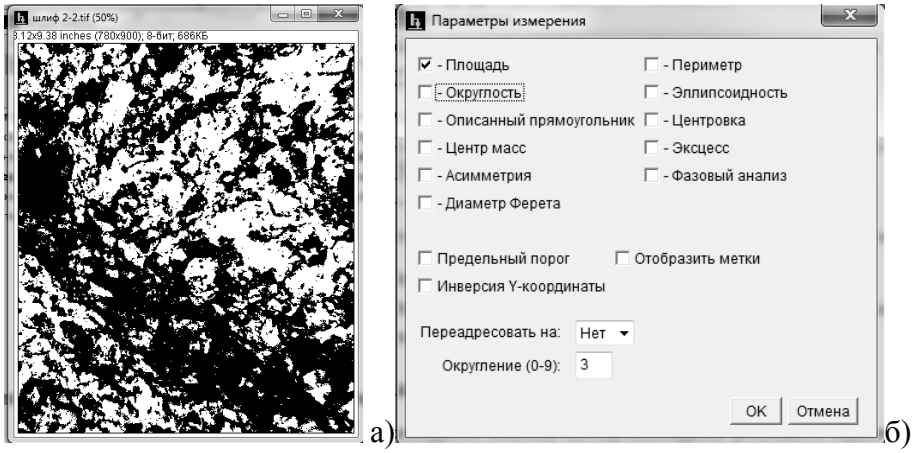


Рис. 6. Изображение поверхности «в масках» (а) и диалоговое окно «Параметры измерения» программы анализа изображений «Микро-Анализ Pro» (б)

Для выполнения анализа изображений необходимо было использовать функцию «Анализ – Анализ частиц» (рис. 7, а). В соответствующем диалоговом окне указывались параметры частиц, которые считала программа (размер и округлость). Также ставились галочки напротив «Результаты на дисплей» и «Стереть результаты» (для того чтобы удалить из буфера предыдущие результаты). Диалоговое окно с результатами показано на рис. 7, б. В качестве результатов указывается: среднее значение площади частиц, их SD – среднеквадратичное отклонение, а также минимальное и максимальное значения площадей частиц.

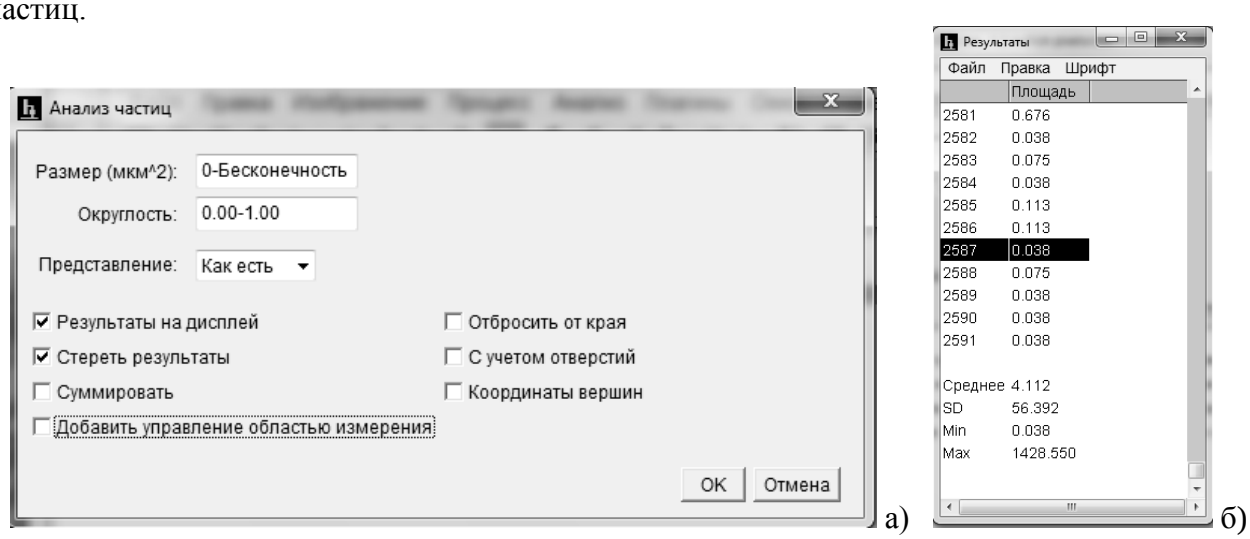


Рис. 7. Диалоговое окно «Анализ частиц» (а) и результаты анализа (б)

Для определения площади светлой (ферритной) зоны выполнялось перемножение количества соответствующих светлых частиц на среднее значение их площади. Среднеквадратичное отклонение указывает на неоднородность размеров частиц.

Основные различия в структурном состоянии шлифов видны в результатах «Анализа частиц», а именно в площади ферритных зон (площадь фотографии: 26365,327 мкм^2):

– шлиф 1: 8059,694 мкм^2 (30,569 %);
– шлиф 2: 11134,925 мкм^2 (42,233 %);
– шлиф 3: 8414,016 мкм^2 (31,913 %);
– шлиф 4: 7975,128 мкм^2 (30,248 %).

Также на различия в структурном состоянии указывает среднеквадратичное отклонение, которое у 2-го шлифа в 5–7 раз больше, так как размеры ферритных участков больше.

Согласно полученным результатам можно сделать вывод, что сталь с содержанием алюминия 0,062 % (шлиф № 2) отличается максимальным значением светлых (ферритных) зон по отношению к остальным сталям. Это может объясняться тем, что именно при данном количестве алюминия к ферритной фазе добавляется аналогичная фаза твердого раствора алюминия в железе. При увеличении содержания алюминия возникают химические соединения последнего с другими легирующими элементами исследуемых сталей ($CuAl_2$, AlN), в итоге доля ферритной (светлой) составляющей снижается.

Для подтверждения данного предположения выполнен дополнительный анализ исследуемых сталей с использованием функции «Гистограмма» программы анализа изображений «Микро-Анализ Pro». Гистограмма представляет собой распределение пикселей по их яркости от 0 до 255. По оси X откладывается уровень яркости, по оси Y – число пикселей с этой яркостью.

На рис. 8 представлены наиболее характерные гистограммы исследуемых сталей. На них четко видно, что у 2-го шлифа присутствует «спинка». Это подтверждает предположение, что у стали № 2 имеется вторая ферритная составляющая. Яркость частиц данной составляющей выше, чем у традиционного феррита, но количество данных частиц меньше, поэтому

на гистограмме и возникает характерная «спинка». Помимо визуального сравнения гистограмм яркости частиц исследуемых шлифов в качестве идентификационного показателя можно использовать параметры гистограмм, а именно, минимальную и максимальную яркость, моду, медиану.

В частности показано, что мода уровня яркости для шлифа № 2 имеет наименьшее значение и составляет 75. Это может являться показателем качества стали. Однако в зависимости от уровня освещения и площади исследуемого участка (фотографии) может меняться и мода ее гистограммы. Поэтому для оценивания качества стали необходимо сравнение с другими образцами, которые могут отсутствовать. Таким образом, необходимо использование иного показателя, а именно, отношения медианы к моде гистограммы. Поскольку данные параметры одинаково зависят от параметров фотографии, то их отношение остается неизменным для одной стали.

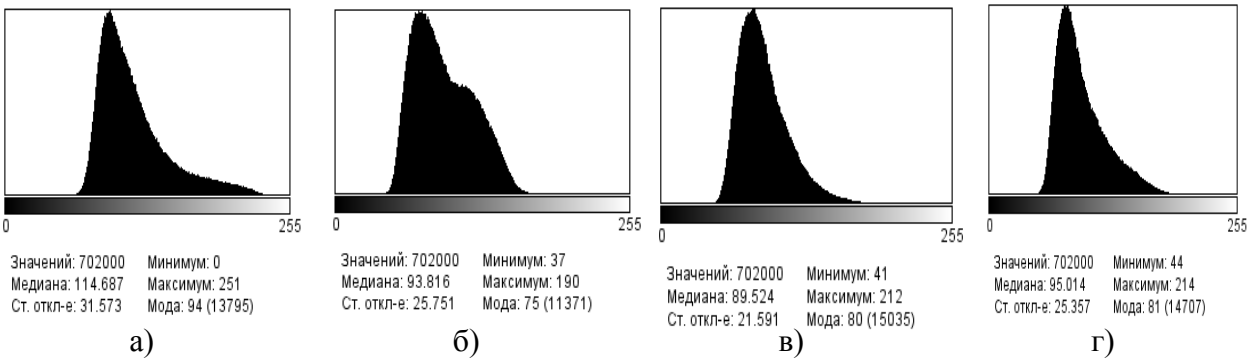


Рис. 8. Гистограммы исследуемых сталей:
а – шлифа 1; б – шлифа 2; в – шлифа 3; г – шлифа 4

Зависимость отношения медианы к моде гистограммы сталей от содержания алюминия показана на рис. 9.

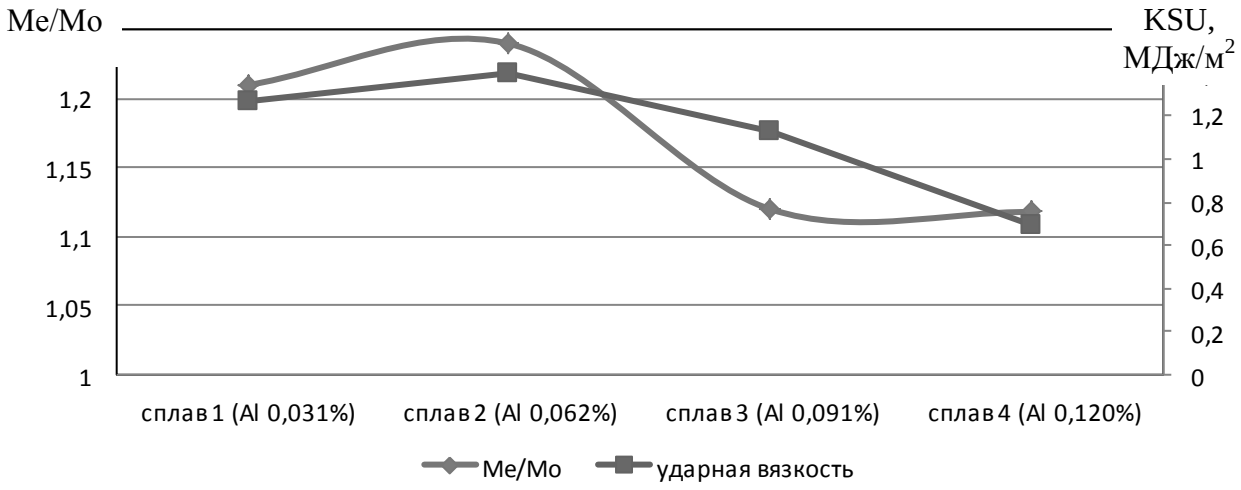


Рис. 9. Зависимость ударной вязкости и отношения медианы к моде гистограммы сталей от содержания алюминия

Необходимо отметить, что представленная зависимость хорошо коррелирует с изменением эксплуатационных характеристик трип-сталей, например ударной вязкостью. Поэтому можно утверждать, что при значении данного параметра от 1,24 и более будет наблюдаться высокая коррозионная стойкость и пластичность, а прочность будет снижаться. При значе-

нии данного параметра ниже 1,24 будет снижаться коррозионная стойкость и пластичность, но повышаться прочность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, использование программы анализа изображений «Микро-Анализ Pro» позволило выполнить анализ фазового состава углеродистых сталей с различным содержанием алюминия. Было доказано, что при определенном содержании алюминия наблюдается максимальная ферритная составляющая, обеспечивающая повышение пластичности данной стали и ее коррозионной стойкости.

Кроме того, впервые введен показатель качества стали, а именно, отношение медианы к моде гистограммы изображения шлифа данной стали. Применение данного показателя позволит более полно оценивать эксплуатационные характеристики конструкционных металлических материалов.

Список используемых источников

1. Металлы и сплавы: справочник. – СПб: НПО «Профессионал», 2003. – 1066 с.
2. Программное обеспечение «Микро-Анализ Pro»: инструкция пользователя ИЮСБ.941239.001 ИЭ. – СПб.: ООО «ЛОМО-Микросистемы», 2012. – 96 с.

А.В. Шевченко,
кандидат техн. наук;
А.С. Юрьев,
доктор техн. наук профессор;
И.А. Дёма

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Рассмотрено применение современных методов численного моделирования при разработке и совершенствовании летательных аппаратов. Проведено экспериментальное исследование в дозвуковой аэродинамической трубе Т-3 для верификации математических моделей и граничных условий, используемых в CAD – программах Ansys с кодом CFX и Flow Simulations SolidWorks.

Ключевые слова: летательный аппарат, аэродинамическая труба, численное моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

В статье приводятся результаты исследования аэродинамических характеристик беспилотного летательного аппарата (БПЛА), полученные на основе численного и экспериментального моделирования задачи дозвукового обтекания ЛА сложной формы. Для задач такого класса применение методов математического моделирования на ранних стадиях процесса проектирования позволяет существенно снизить потребности в физическом эксперименте и провести предварительную параметрическую оптимизацию, позволяющую выбрать проектные параметры изделия. В то же время снижение потребности в физическом эксперименте ничуть не снижает его ценности как основного критерия верификации результатов численного моделирования.

При создании образцов вооружения и военной техники большую роль играет применение современных вычислительных программ моделирования физических процессов (численное моделирование) совместно с экспериментальными исследованиями для верификации математических моделей исследуемых явлений. В работе рассмотрен вопрос верификации адаптированных математических моделей к реальным процессам обтекания летательных аппаратов сложной формы.

В статье приведены результаты численного и экспериментального исследования аэродинамических характеристик разведывательно-ударного БПЛА MQ-9 Reaper (рис.1).

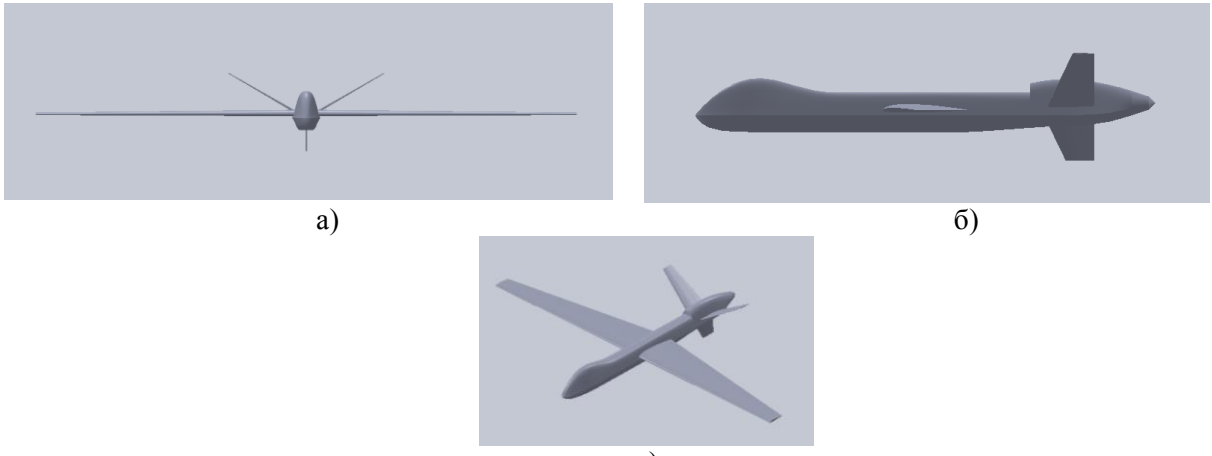
Рис. 1. Беспилотный летательный аппарат MQ-9

Данный БПЛА был создан на основе MQ-1 Predator, он оснащен турбовинтовым двигателем, позволяющим развивать скорость более 400 км/ч. Практический потолок составляет 13000 м. Максимальная продолжительность полета равна 24 часам. В качестве профиля крыла передней консоли был выбран профиль плоско-выпуклого крыла NASA-2210. Эти характеристики послужили основой для определения диапазона исходных данных, используемых в исследованиях.

Теоретическое определение аэродинамических характеристик БПЛА выполнялось в средах Flow Simulation пакета SolidWorks (лицензия ВКА имени А.Ф. Можайского № 900 000 922 981 664 8JY WB3 Q2C) и ANSYS с кодом CFX (лицензия ВКА имени А.Ф. Можайского № 1020993).

ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Для проведения численных расчетов, с помощью CAD-пакета была построена трехмерная модель БПЛА MQ-9 Reaper в масштабе (рис. 2). На модели крышка воздухозаборника выполнена закрытой.



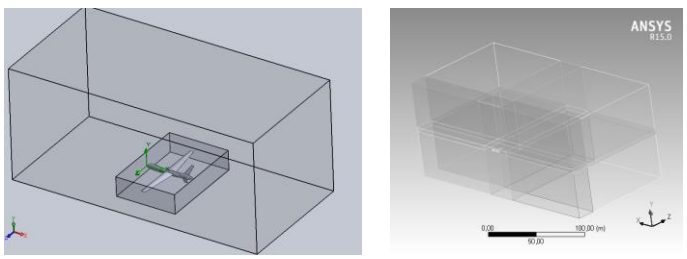
а) б)

в)

Рис. 2. Трехмерная модель БПЛА MQ-9 Reaper:

а – вид спереди; б – вид сбоку; в – изометрия

Для расчета вблизи модели была создана рабочая область в виде параллелепипеда (рис. 3). Ее размеры обусловлены вычислительными способностями персонального компьютера и локализацией возмущений в рабочей области.

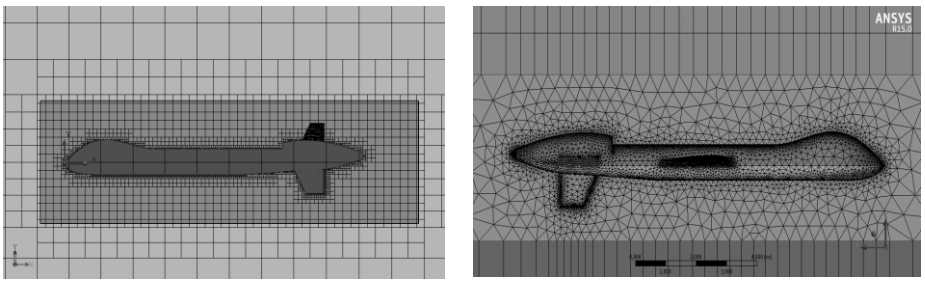


а) б)

Рис. 3. Расчетная область вблизи БПЛА:
а – расчетная область вблизи БПЛА в Flow Simulation SolidWorks;
б – расчетная область вблизи БПЛА в Ansys CFX

Вблизи БПЛА располагается параллелепипед, размеры и положение которого подобраны так, чтобы он описывал предполагаемую зону наиболее интенсивных возмущений, вызванных объектом в целом. Для удобства построения сетки рабочая область была разбита на 18 параллелепипедов.

Применявшиеся в расчетах сетки имели размерность примерно $1{,}6\times10^6$ тетраэдральных и гексагональных элементов (табл. 1). Расстояние от первой расчетной точки до стенки обеспечивало подходящий для используемой модели диапазон нормированного расстояния $y+$ от 15 до 30 и являлось достаточно малым для определения местных газодинамических характеристик вблизи поверхности БПЛА (рис. 4).



а) б)

Рис. 4. Аппроксимация конечными элементами расчетной области вблизи БПЛА: а – аппроксимация конечными элементами в Flow Simulation SolidWorks; б – аппроксимация конечными элементами в Ansys CFX

Таблица 1

Параметры разбиения сетки расчетной области вблизи БПЛА

Решатель	Ортогональность	Коэфф. роста	Коэфф. равномерности	Кол-во элементов	Кол-во узлов
Ansys	47,3	19	5	243652	985053
SolidWorks	25	25	9	15032	685987

Расчет проводился при режиме течения сплошной среды (K_n<0,01). В качестве рабочего тела выбрана модель двухатомного газа (κ=1,4), учитывающая вязкость и теплопроводность.

Исходные данные для расчетов: Re_∞=6…1,4×106, T_∞=293 К, ρ_∞=1,225 кг/м^3, p_∞=1,01 кПа. В ANSYS CFX в качестве модели турбулентности, замыкающей уравнения Навье-Стокса, осредненные по Рейнольдсу, использовалась модель переноса сдвиговых напряжений Ментнера (*SST*) [3]. Проведенный анализ показал, что при сравнении с другими используемыми в настоящее время моделями турбулентности подход Ментнера демонстрирует достаточно высокую эффективность при расчетах характеристик обтекания тел сложной формы [2]. При использовании Flow Simulation SolidWorks использовалась классическая *k*-тая модель турбулентности ввиду ограниченности применимости данного пакета.

Результаты численных расчетов аэродинамических коэффициентов от углов атаки приведены на рис. 5–9.

Как видно из рис. 6, зависимость C_{ya} от α имеет линейный характер. Наивыгоднейший угол атаки $\alpha=6^0$. Зависимость C_{xa} от α имеет также стандартный, параболический вид, минимум функции которой находится в диапазоне углов атаки ($\alpha=0^0$ ~3^0). Также стоит отметить, что результаты расчетов, выполненных в ANSYS CFX и SolidWorks, показали хорошую согласованность.

Положение центра давления (рис. 8), равное 0,55, почти не изменяется в диапазоне углов атаки $-10^0 < \alpha < 8^0$ за исключением $-4^0 < \alpha < -2^0$.

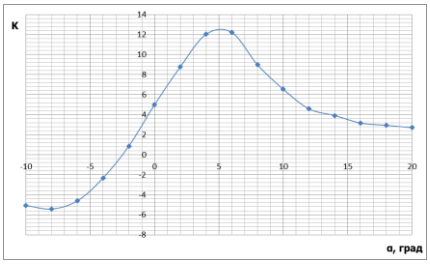


Рис. 5. Зависимость аэродинамического качества от α

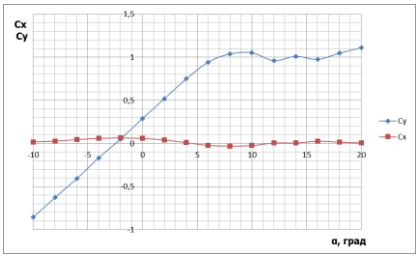


Рис. 6. Зависимость коэффициентов нормальной и поперечной силы от α

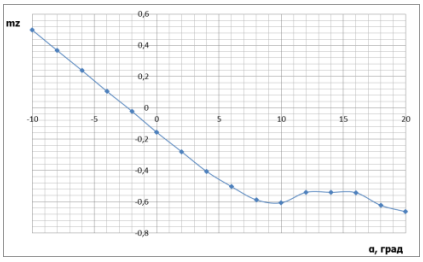


Рис. 7. Зависимость коэффициента момента тангажа от α

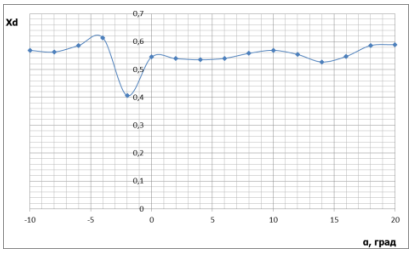


Рис. 8. Зависимость коэффициента центра давления от α

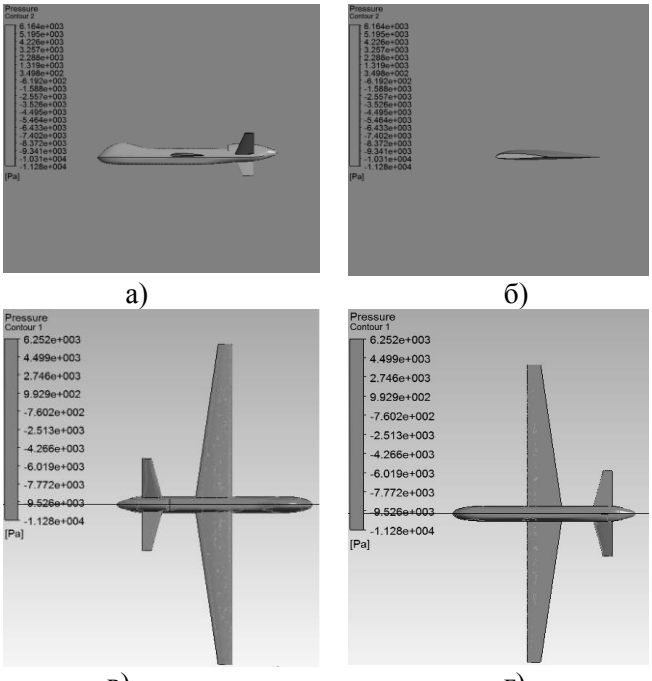


Рис. 9. Распределение давления:
а – в плоскости оси симметрии БПЛА;
б – в близи крыла БПЛА;
в – на поверхности БПЛА (вид сверху);
г – на поверхности БПЛА (вид снизу)

ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Для экспериментального определения аэродинамических характеристик БПЛА MQ-9 Reaper была изготовлена модель масштабом 1:28. Продувки производились в дозвуковой аэродинамической трубе Т-3 (аттестат №13/1087) (рис. 10). Расположение модели соответствующим образом в рабочей части аэродинамической трубы обусловлено конструкцией аэродинамических весов. Дозвуковая аэродинамическая труба Т-3 оборудована четырехкомпонентными аэродинамическими весами 4КВТ2 с ниточной подвеской модели. Замеры проводятся в скоростной системе координат. На весах измеряются сила лобового сопротивления, подъемная и боковая силы. Момент тангажа подсчитывается по замерам составляющих подъемной силы и силы сопротивления. В процессе подвески производится строгая ориентация модели по направлению вектора скорости потока (оси трубы). В потоке находится модель с державками и часть нитей. Все остальные конструктивные узлы и элементы подвески весов вынесены за его пределы.

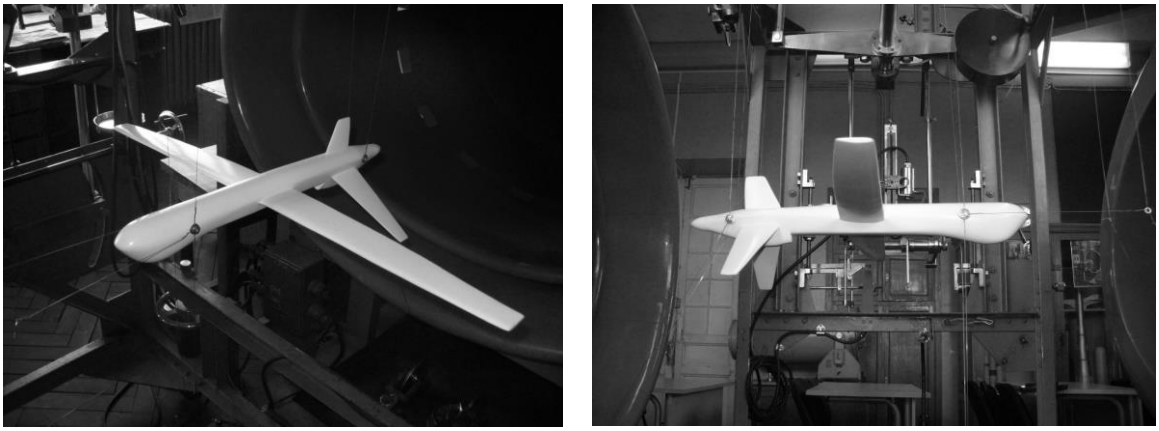
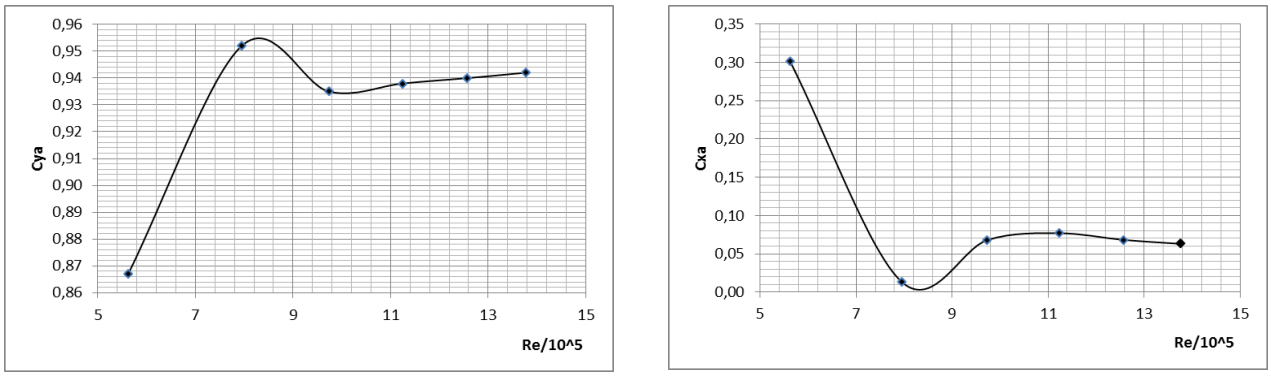


Рис. 10. Модель MQ-9 Reaper, установленная в рабочей части дозвуковой аэродинамической трубы Т-3

Экспериментальные исследования проводились при числе Рейнольдса $Re_\infty=1{,}4\times10^6$ и углах атаки $-10^0 < \alpha < 8^0$. Результаты выполненных исследований представлены на рис. 11 и 12.

Как видно из графиков, автомодельный режим наступает при числах Рейнольдса $Re_\infty>10^6$, таким образом, результаты эксперимента, проведенного при числе Рейнольдса $Re_\infty= =1{,}257\times10^6$ возможно переносить на натурную модель.

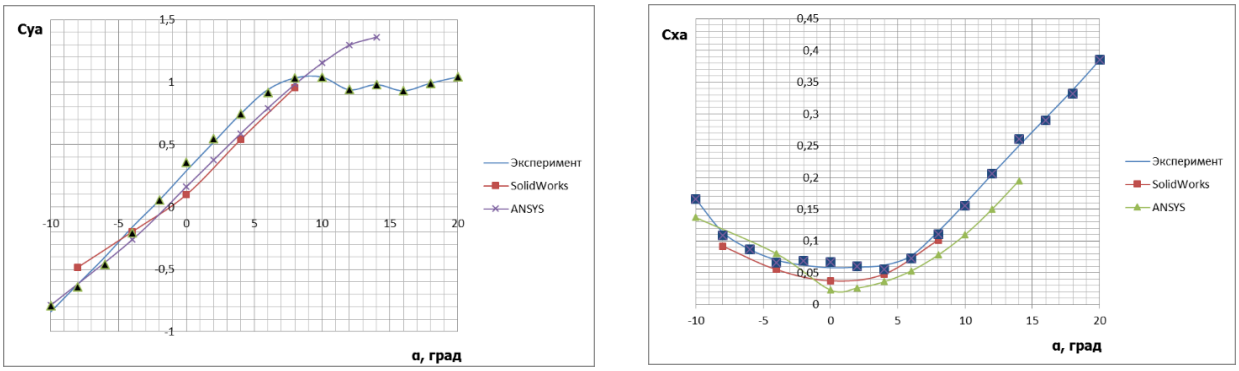


а) б)

Рис. 11. Зависимость коэффициента подъемной силы (а) и лобового сопротивления (б) от Re_∞ ($\alpha= 6^0$)

На рис. 12 представлены графики зависимостей C_{ya} и C_{xa} от α, полученные в ходе проведения экспериментов на дозвуковой аэродинамической трубе Т-3 и расчетов в пакетах

SolidWorks и ANSYS CFX. Видно хорошее согласование результатов теоретических и экспериментальных исследований (погрешность меньше 15%).



а) б)

Рис. 12. Зависимость коэффициентов подъемной силы (а) и силы лобового сопротивления (б) от α

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные расчеты аэродинамических характеристик БПЛА и сравнение их с экспериментальными данными позволили определить конструкции и размерность расчетных разностных сеток, удовлетворяющих приемлемым затратам машинного времени и достаточной точности полученных решений, а также сделать заключение о высокой степени их достоверности. Выполненная оценка достоверности и точности полученных в рамках выбранных модели и метода результатов дает основание сделать вывод о том, что единство вычислительного моделирования на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, решаемых в среде современных CAE-пакетов (SolidWorks и ANSYS) и физического эксперимента, можно представить как виртуальный экспериментальный стенд для изучения особенностей сложных аэрогидродинамических явлений при разработке и совершенствовании образцов военной техники.

Список используемых источников

1. Численное исследование обтекания тела сверхзвуковым потоком с кольцевой зоной энерговыделения / А.В. Шевченко, А.С. Юрьев и др. // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы совершенствования тактико-технических характеристик ракетно-космической техники, ее создания, испытаний и эксплуатации», 9–10 апреля 2013 г. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013 . – С. 25–34.

2. *Грачев И.Г., Низовцев В.М.* Аэрогазодинамика: руководство к лабораторным работам. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2005.

3. CFD Simulations of Aerodynamic Folws with a Pressure-Based Method / F.R. Mentner, P.F. Galpin, T. Esch, M. Kuntz., C. Berner // Paper ICAS 2004-2.4.1, Japan, Yokohoma, 2004. – 11 p.

В.Н. Калинин,
доктор тех. наук, профессор;
А.В. Коцкович;
М.В. Хохлова,
кандидат педагогических наук, доцент

МЕТОДИКА ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ КУРСАНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

Предложена методика поэтапного промежуточного контроля для корректного оценивания уровня сформированности компетенций курсанта по учебной дисциплине. Показано, что последовательное назначение уровней компетенций позволяет повысить объективность количественных оценок результатов обучения.

Ключевые слова: компетенции, промежуточный контроль, методика, компьютерное тестирование.

Переориентация образовательного процесса на обучение по ФГОС–3 ВПО обозначила ряд первостепенных задач, стоящих перед кафедрами академии. Главной среди них является адекватная оценка достижений курсантов с использованием концепции компетентностного подхода. Однако на сегодняшний день не существует документов, регламентирующих процесс и критерии оценивания уровня сформированности компетенций обучающихся, а образовательное сообщество не имеет по этому вопросу единого мнения.

Основная сложность в оценивании уровня сформированности компетенций (УСК) заключается в том, что этот уровень является *латентным* (скрытым) параметром и непосредственно измерен быть не может. Имеются некоторые теоретические разработки [1, 2], определяющие понятие компетенций и предлагающие методики и методы их оценивания (психодиагностические тесты, педагогические наблюдения, анализ деятельности и т. п.), но большая часть из них носит описательный, узконаправленный характер. В сложившейся ситуации вузы вынуждены вести самостоятельные исследования в поисках оптимальной формы оценивания компетенций обучающихся.

Попытка решения указанной проблемы была предпринята в рамках методического эксперимента «Компетенция 2014», проводимого в академии. В числе результатов этих научно-методических исследований, значительный интерес представляет концептуальный подход, предложенный в работах [3, 4]. Здесь были определены основные направления формирования и обоснованы критерии оценивания общекультурных и профессиональных компетенций в цикле математических и естественнонаучных дисциплин. Основной тезис этих работ можно сформулировать следующим образом: современная парадигма компетентностного подхода требует *переосмысления* имеющегося опыта и возможностей в новых терминах, *а также коррекции используемых методик* и документального сопровождения образовательного процесса. По мнению авторов, целесообразно различать два вида компетенций:

а) дисциплинарные (предметные) компетенции, формируемые при изучении конкретных дисциплин и указанные в соответствующих рабочих программах;

б) итоговые компетенции (компетенции по специальности), содержащиеся в соответствующих ФГОС.

На сегодняшний день основным документом, регламентирующим некоторые аспекты контроля УСК в вузах силовых структур, является Приказ Министра обороны от 15 сентября 2014 года № 670 «О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации»».

Обратимся к содержанию статьи 18 Приказа МО. В ней указывается, что учебная программа должна включать в себя критерии оценки результатов обучения по дисциплине при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся, *фонд оценочных средств* для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине. В соответствии со статьей 23 Приказа МО фонд оценочных средств, в свою очередь, должен содержать:

1) перечень компетенций обучающихся с указанием этапов их формирования в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы;

2) описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание *шкал оценивания*;

3) типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы;

4) *методические материалы, определяющие процедуры оценивания* знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Отсюда следует вывод: для каждого результата обучения по дисциплине или практике военно-учебное заведение определяет показатели и критерии оценивания сформированности компетенций на различных этапах их формирования, шкалы и процедуры оценивания.

Основой инженерного мышления военного специалиста является физическое образование, поэтому важнейшей дисциплиной естественнонаучного цикла является, безусловно, дисциплина «Физика». Дисциплинарные компетенции, как конечный результат обучения на кафедре физики, являются фундаментальной основой компетенций по специальности военного инженера. В соответствии с учебной программой процесс изучения дисциплины «Физика» направлен на формирование следующих дисциплинарных компетенций:

– способности использовать знания о современной физической картине мира, строении материи, пространственно-временных и причинно-следственных закономерностях протекания физических процессов для понимания окружающего мира и явлений природы (общекультурная компетенция Физика-ОК-1);

– способности выявлять физическую сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, обоснованно выбирать адекватные физико-математические модели процессов и явлений, применять для их исследования соответствующий математический аппарат современной физики (профессиональная компетенция Физика-ПК-1);

– 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 (профессиональная компетенция Физика-ПК-2).

В фонде оценочных средств данные компетенции раскрыты в двух аспектах: когнитивном (знание, понимание) и функциональном (умение, навык, владение), которые определяют содержание подготовки по дисциплине, необходимое для их формирования.

Промежуточный контроль (экзамены и зачеты) имеет целью проверить и оценить уровень знаний, полученных курсантами, способность применять их к решению практических задач, что определяет уровень сформированности дисциплинарных компетенций (УСДК) в объеме требований учебной программы дисциплины на отчетный период.

Однако традиционная методика проведения промежуточного контроля (по билетам) не учитывает в полной мере тот факт, что каждый из этих аспектов и, соответственно, каждая из компетенций могут быть сформированы на трех уровнях: *базовом, достаточном и высоком*. Базовый уровень является обязательным для всех обучающихся по завершении освоения учебной программы и соответствует оценке «*удовлетворительно*». Достаточный уровень характеризуется превышением минимальных требований к УСК и соответствует оценке «*хорошо*». Высокому уровню соответствует оптимальная степень выраженности компетенции и оценка «*отлично*». Этот уровень может служить качественным ориентиром для самосовер-

шенствования обучающихся [5]. Для более детального выявления УСДК фонд оценочных средств должен содержать соответствующий инструментарий.

В качестве инструментария для детального выявления УСДК может служить предлагаемая методика поэтапного промежуточного контроля. Рассмотрим ее отличие от применяемой в настоящее время традиционной методики.

При традиционной методике приема устные семестровые экзамены (зачеты) проводятся по билетам. Содержание экзаменационных билетов охватывает весь учебный материал, пройденный за отчетный период (семестр). Однако в соответствии с требованиями Методических указаний по организации экзаменационной сессии в академии «экзаменационный билет должен содержать *два-три* четко сформулированных вопроса, один из которых обеспечивает проверку практических умений. Вопросы должны быть из различных разделов программы и по объему рассчитаны на ответ не боле 30 минут». Опыт показывает, что большинство преподавателей включают в экзаменационный билет два теоретических вопроса и задачу. Общее количество теоретических вопросов, подлежащих контролю, как правило, не менее 40–50, число задач 20–30. Вывод: такой подход позволяет оценить только три позиции УСДК (с учетом дополнительных вопросов пять-шесть), т. е. максимум 1/10 от общего их количества, что явно недостаточно для корректного оценивания уровня сформированности компетенций курсанта по учебной дисциплине. При этом необходимо учитывать ограниченный ресурс времени, выделенный на проведение контроля: зачет – 4 часа, экзамен – 6 часов.

В рамках методического эксперимента, проводимого в период с 2006 по 2010 год в учебных группах пятого факультета с целью повышения объективности количественных оценок результатов обучения, была разработана методика поэтапного промежуточного контроля сформированности компетенций курсанта по физике с использованием компьютерного тестирования [6]. Данная методика предполагает замену одного из трех вопросов традиционного билета тестовыми заданиями и увеличение количества практических задач с одной до двух. Предполагается также организационное разделение экзамена (зачета) *на три этапа*: компьютерное тестирование, решение практических задач, ответ на теоретический вопрос. Каждый из этапов является логически завершенным и предполагает выставление соответствующей оценки: «удовлетворительно», «хорошо» или «отлично». На каждом этапе контроля курсант должен продемонстрировать уровень компетенций, позволяющий ему продолжать экзамен (зачет), переходя от этапа к этапу. В противном случае экзамен (зачет) для него завершается выставлением оценки за пройденный этап в экзаменационную ведомость.

В отличие от традиционных методик предлагаемая методика дает курсантам четкое представление о том, каким будет уровень контроля компетенций на каждом этапе. Исходя из собственных возможностей каждый курсант может сформулировать для себя реальную конечную цель и рационально распределить усилия при подготовке к промежуточному контролю. Более качественная подготовка, в свою очередь, приводит к более высоким показателям по итогам контроля. Методика поэтапного промежуточного контроля была обсуждена и одобрена на заседании кафедры и утверждена первым заместителем начальника академии. В настоящее время она внедрена в учебный процесс и успешно используется при проведении промежуточного контроля в учебных группах пятого и шестого факультетов.

Рассмотрим подробнее содержание методики.

1. Подготовительный этап.

На подготовительном этапе преподаватель разрабатывает полный перечень вопросов по материалу учебной программы, который подлежит контролю на экзамене (зачете) за отчетный период. Далее в этом перечне вопросов выделяется *базовая часть*, а именно: отмечаются те *вопросы, знание которых, безусловно, необходимо курсанту для успешного обучения на военно-специальных кафедрах*. Выделение базовой части целесообразно проводить при участии представителей соответствующих кафедр. Перечень вопросов с указанием базовой части выдается курсантам для самостоятельной подготовки к промежуточному контролю.

Базовая часть вопросов (обязательная для военно-специальной подготовки курсантов) используется преподавателем для разработки заданий для компьютерного тестирования на первом этапе промежуточного контроля. Как показал педагогический эксперимент, для лекционного потока в 60–70 человек оптимальным количеством является 120–150 тестовых заданий, которые целесообразно распределить на 8–10 вариантов по 15–20 заданий. В каждый вариант должны быть включены задания разного уровня сложности, например: из 15 заданий 10 простых, 3 повышенного уровня сложности и 2 сложных. Содержание этих заданий должно охватывать *весь учебный материал базовой части вопросов* промежуточного контроля.

Для методического обеспечения второго этапа контроля преподаватель разрабатывает варианты практических заданий, содержащие две задачи из разных разделов программы, отличающиеся по уровню сложности. Для лекционного потока в 60–70 человек оптимальным количеством является 30–35 вариантов. Преподаватель составляет также перечень таблиц, констант и справочных данных, которыми разрешено пользоваться курсантам на этом этапе.

Для обеспечения третьего этапа контроля оформляются билеты с теоретическими вопросами, соответствующими по количеству и формулировке вопросам в полном перечне вопросов, подлежащих промежуточному контролю.

Полный перечень вопросов, варианты экзаменационных практических и тестовых заданий, а также перечень таблиц, констант и справочных данных, которыми разрешено пользоваться курсантам, обсуждаются на заседании кафедры и утверждаются заведующим кафедрой не позднее, чем за месяц до начала экзаменационной сессии.

При проведении первой (установочной) консультации преподаватель подробно объясняет курсантам порядок проведения промежуточного контроля, критерии оценивания его этапов и обращает внимание на рациональное планирование самоподготовки.

2. Первый этап промежуточного контроля – базовый уровень.

Первый этап промежуточного контроля проводится в форме компьютерного тестирования. Тестирование осуществляется в специализированной аудитории кафедры физики (компьютерном классе), оснащенной индивидуальными рабочими местами класса Pentium II (всего 8 мест) и сервером класса Pentium III, связанными локальной сетью. После доклада о прибытии на экзамен (зачет), курсанты получают инструктаж на рабочем месте о порядке проведения тестирования. Кроме того, в аудитории находится стенд, на котором размещена пошаговая инструкция, объясняющая прохождение тестирования.

Тестирование начинается по команде преподавателя и продолжается 30–40 минут. По истечении указанного лимита времени тестирование автоматически прерывается. На каждом рабочем месте, на экране монитора, появляется количество баллов, набранное в результате тестирования. В зависимости от сложности тестового задания за правильный ответ курсант может получить один, два или три балла. Так, для рассмотренного выше примера варианта из 15 заданий максимально возможное количество баллов составит 22, а именно: $1\times10=10$ за простые задания, $2\times3=6$ за задания повышенной сложности и $3\times2=6$ за сложные задания.

Для оценивания УСДК на первом этапе промежуточного контроля разработана *специальная шкала*, позволяющая максимально объективно оценить достижения курсантов. Она предусматривает учет не только результатов, показанных курсантом при тестировании, но и его достижений в текущей работе за семестр. Градация оценочной шкалы следующая:

1) результат от 0 до 12 баллов – низкий уровень компетенций: выставляется оценка «неудовлетворительно», и экзамен (зачет) для курсанта заканчивается;

2) результат 13 баллов – граничный с базовым уровень компетенций: по усмотрению преподавателя выставляется оценка «неудовлетворительно», и экзамен (зачет) для курсанта заканчивается. В случае, если курсант активно работал в течение семестра, преподаватель при этом показателе может оценить его результат как «удовлетворительный», после чего экзамен (зачет) для курсанта заканчивается;

3) результат от 14 до 16 баллов – базовый уровень компетенций: выставляется оценка «удовлетворительно», и экзамен (зачет) для курсанта заканчивается;

4) результат 17-18 баллов – граничный с достаточным уровнем компетенций: по усмотрению преподавателя выставляется оценка «удовлетворительно», и экзамен (зачет) для курсанта заканчивается. В случае, если курсант активно работал в течение семестра, преподаватель при этих показателях может оценить его результат как «достаточный», после чего курсант допускается к прохождению следующего этапа;

5) результат от 19 до 22 баллов – достаточный уровень компетенций: курсант допускается к прохождению следующего этапа, где он должен подтвердить этот уровень.

Программное обеспечение первого этапа реализовано на базе инсталляционного пакета дистрибутива автоматизированной системы тестирования знаний (АСТЗ), разработанной А.В. Родионовым [7]. Система предоставляет следующие возможности проведения тестирования:

– возможность ранжирования тестовых заданий по уровню сложности вопросов;

– возможность автоматического суммирования баллов при отборе вопросов в состав теста;

– случайный порядок предъявления вопросов в ходе тестирования, а также случайный порядок очередности вариантов ответов к каждому вопросу;

– индивидуальный хронометраж времени на выполнение теста, с возможностью принудительного завершения теста по истечении установленного лимита;

– возможность контроля преподавателем в реальном времени хода тестирования по всем рабочим местам;

– возможность курсанту видеть текущее число набранных им баллов и показания таймера времени с начала выполнения задания;

– возможность отложить ответ на вопрос (он будет повторно предъявлен по окончании списка вопросов, входящих в тест).

При проведении промежуточного контроля в условиях ограниченных возможностей компьютерное тестирование может быть заменено обычным (на контрольных бланках). При этом рекомендуется увеличить число вариантов заданий.

3. Второй этап промежуточного контроля – достаточный уровень.

Все курсанты, показавшие достаточный уровень компетенций на первом этапе промежуточного контроля и перешедшие во второй этап, должны подтвердить свои достижения, продемонстрировав умение решать практические задачи и обосновывать свое решение.

На втором этапе курсант получает карточку с вариантом практического задания (выбирая одну из числа имеющихся), называет его номер и готовится к ответу на рабочем месте или у доски. На подготовку к ответу отводится 20 минут. При этом курсанты могут пользоваться разрешенными таблицами, константами и справочными данными. По истечении указанного лимита времени курсант должен представить и защитить решение двух задач. По ходу защиты преподаватель может задавать дополнительные вопросы для уточнения существа ответа.

При оценивании результатов второго этапа промежуточного контроля предлагается использовать *следующую шкалу*:

1) ни одна задача не решена – достаточный уровень компетенций не подтвержден: курсанту выставляется оценка «удовлетворительно», заработанная им на первом этапе, и экзамен (зачет) для него заканчивается;

2) одна задача решена правильно и представлено устное обоснование решения, вторая задача не решена – достаточный уровень компетенций подтвержден: выставляется оценка «хорошо», и экзамен (зачет) для курсанта заканчивается;

3) одна задача решена правильно и представлено устное обоснование решения, для второй задачи есть письменное решение, но нет устного обоснования – достаточный уровень компетенций подтвержден: выставляется оценка «хорошо», и экзамен (зачет) для курсанта заканчивается. В случае, если курсант активно работал в течение семестра, преподаватель при

этих показателях может оценить его результат как «граничный с высоким», после чего курсант допускается к прохождению следующего этапа;

4) обе задачи решены правильно и представлено устное обоснование решения – граничный с высоким уровень компетенций: курсант допускается к прохождению следующего этапа, где он должен подтвердить этот уровень.

4. Третий этап промежуточного контроля – высокий уровень.

Все курсанты, прошедшие в третий этап, уже заработали оценку «хорошо», но могут побороться за более высокую оценку. Для этого они должны продемонстрировать знание теоретических вопросов, умение излагать физическую суть процессов и явлений, способность отвечать на поставленные вопросы.

На третьем этапе курсант выбирает один из имеющихся билетов с теоретическим вопросом и готовится к ответу на рабочем месте или у доски. На подготовку к ответу отводится не более 10 минут. По истечении указанного лимита времени курсант должен «с чистого листа» (без права пользоваться тезисами, записанными при подготовке) изложить доставшийся ему теоретический вопрос, представив все необходимые обоснования и доказательства. По ходу изложения преподаватель может задать уточняющие вопросы по существу вопроса. Преподаватель может также проверить уровень усвоения курсантом фрагментов любых других вопросов из полного перечня вопросов по материалу учебной программы, который подлежит контролю.

Для оценивания результатов третьего этапа экзамена разработана *следующая шкала*:

1) ответ на теоретический вопрос не представлен или представлен недостаточно полно – высокий уровень компетенций не подтвержден: курсанту выставляется оценка «хорошо», заработанная им на втором этапе;

2) представлен исчерпывающий ответ на теоретический и дополнительные вопросы – высокий уровень компетенций подтвержден: курсанту выставляется оценка «отлично».

5. Заключительный этап.

По завершении третьего этапа преподаватель подводит краткие итоги промежуточного контроля. Особое внимание обращается на курсантов, получивших неудовлетворительные оценки. Заключительный этап имеет целью установить обратную связь между курсантом и преподавателем и стимулировать неуспевающих курсантов к исправлению неудовлетворительных результатов. На своих рабочих местах в компьютерном классе курсанты, получившие неудовлетворительные оценки, имеют возможность просмотреть вопросы, на которые ими были даны неправильные ответы, и получить индивидуальную консультацию преподавателя. В случае необходимости они могут также получить распечатки этих вопросов, для повторения их на самоподготовке.

Опыт применения методики поэтапного промежуточного контроля на кафедре физики показал, что последовательное оценивание уровней компетенций позволяет повысить объективность количественных оценок результатов обучения в целом. Она может быть предложена всем кафедрам академии, ведущим работу в области применения активных форм обучения, направленных на формирование требуемых компетенций.

Список используемых источников

1. *Ефремова Н.Ф.* Компетенции в образовании: формирование и оценивание. – М.: Национальное образование, 2012. – 416 с.

2. Компетентностно-ориентированые задания: конструирование и применение в учебном процессе: учебно-методическое пособие / под ред. Н.Ф. Ефремовой. – М.: Национальное образование, 2013. – 208 с.

3. *Алтухов А.И., Головина В.В., Калинин В.Н.* Формирование и критерии оценивания общекультурных и профессиональных компетенций в цикле математических и естественнона-

учных дисциплин // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – Вып. № 642. – С. 210–215.

4. *Калинин В.Н.* Основные направления формирования и критерии оценивания общекультурных и профессиональных компетенций в цикле математических и естественнонаучных дисциплин // Информационный бюллетень № 121. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – 88 с.

5. *Хохлова М.В., Шакирова Э.А.* Опыт применения компетентностного подхода и оценивания конечных результатов на кафедре физики // XX Международная научно-методическая конференция «Современное образование: содержание, технологии, качество». – СПб.: СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2014. – Т.2. – 271 с.

6. *Хохлова М.В., Родионов А.В.* Интерактивная автоматизированная система фронтального контроля знаний по физике // Выставка-форум «Армия и общество». – М.: ЦВЗ «Манеж», 15–18 апреля 2010. – экспонат.

7. *Родионов А.В., Ефимов С.Н., Акмолов А.Ф.* Автоматизированная система тестирования знаний // Информационный бюллетень № 109. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011.– 67 с.

В.В. Конорев,
кандидат исторических наук, доцент

РЕФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА КУЛЬТУРНЫЙ ОБЛИК КОМАНДИРА КРАСНОЙ АРМИИ В 20-Е ГОДЫ XX ВЕКА

В статье описаны основные проблемы строительства и реформирования системы военного образования молодой Советской республики, которые пришлось решать Советской власти в ходе проведения Военной реформы 1924–1928 годов. Заложенные в этот период основы военного образования командиров армии нового типа на долгие годы оставались фундаментом подготовки начальствующего состава Красной Армии.

Ключевые слова: военная реформа 1924–1928 годов, подготовка красных командиров, военные учебные заведения, военное образование.

Созданная за годы Гражданской войны Советской властью система подготовки красных командиров с переходом армии на мирное положение стала претерпевать серьезные изменения. Бессистемное сокращение личного состава Красной Армии после Гражданской войны самым пагубным образом отразилось на подготовке командного звена. С одной стороны, войска перестали нуждаться в массовом пополнении краскомами, с другой – вузы, несмотря на сокращение, продолжали выпуск скороспелых командиров по сокращенным программам.

Ряд вузов, пытаясь выйти из этой ситуации, стали переходить на программы нормальных военных школ, предусматривавшие 2-3-летнюю подготовку курсантов. Однако отсутствие централизованного руководства этим процессом приводило к еще большему хаосу, особенно в организации учебно-воспитательного процесса. Военные школы, готовя военных специалистов одинакового профиля, имели разные учебные программы и планы, собственный преподавательский состав, различную организационно-штатную структуру т. п. Самым пагубным образом на подготовке сказывалось тяжелое материально-бытовое положение курсантов.

Серьезной проблемой в мирное время являлось также отсутствие четкого законодательства о порядке прохождения службы комсоставом, о льготах и преимуществах, социальной защите их и их семей. Всё это напрямую влияло на престиж военной службы, который уже с начала 20-х годов XX века значительно снизился. Сократилось количество желающих получить военное образование. Это заставило советскую власть принимать особые меры для привлечения людей в военные учебные заведения. К числу таких мер можно отнести получившие в тот период широкое распространение «недели красной казармы» и «дни красного командира», проводимые с характерными для 20-х годов широким размахом и революционной помпезностью. Таким, например, планировался День красного командира в мае 1920 года его организатором в Петрограде – Петроградским комитетом РКП(б). Для проведения всей организационной работы была создана рабочая «пятерка», утвержден план ее работы и самого праздника. О грандиозности планируемого мероприятия говорит тот факт, что предусматривалось через массовую «пролетарскую смычку» курсантских подразделений с рабочими коллективами охватить широкой пропагандистской работой более 200 предприятий и рабочих организаций города. Предусматривались совместные концерты, посещения предприятий и курсантских казарм, специальные лекции по военно-технической тематике, «вечера смычки» и др.

20 мая 1920 года День красного командира, по донесениям с мест, прошел организованно и с большим революционным подъемом. Однако надежды его организаторов на массовое пополнение Петроградских командных курсов не оправдались, что видно из донесения

Начальника политчасти Петроградского Главного управления военно-учебных заведений: «Во время агитации было обслужено более 200 рабочих организаций. Между рабочими было распределено 20 тысяч пригласительных билетов для участия в мероприятиях. Но ввиду преобладания везде работниц и отсутствия в достаточном количестве рабочих в возрасте, годном для комкурсов, а также высокой квалификации последних результаты комплектования курсов рабочими не могли получиться хорошими, а именно: на все Комкурсы Петрограда записано 85 человек из рабочих и 150 красноармейцев из частей» [1].

Вряд ли указанные причины можно считать объективными. С трудом верится, что полуторамиллионный промышленный центр, которым являлся в 1920 году Петроград, не имел молодежи, подходящей под условия приема в вузы, упрощенные до абсурда (знание 4 правил арифметики, умение читать и писать). Исторические документы позволяют утверждать, что основной причиной непрестижности командирской профессии были крайне тяжелые материально-бытовые условия курсантской службы, проходящей на глазах горожан, тем более, что Петроград считался крупнейшим центром военно-профессиональной подготовки. Даже на последнем этапе массового сокращения армии в вузах Петрограда в 1923 году проходило обучение 8640 курсантов и слушателей [2].

О состоянии курсантского обеспечения весьма красноречиво говорит содержание служебной записки начальника Петроградского ГУВУЗа Кузьменко, направленной в Президиум Петрогубисполкома и Петроградский комитет РКП(б): «Мною уже неоднократно возбуждался вопрос питания курсантов, которые уже в течение 2 месяцев получают одну селедку и только 3 дня за это время получали мясо. В Красносельском лагере по моему приказанию был произведен осмотр 2055 курсантов. Данные осмотра таковы: малокровных – 229, больных куриной слепотой – 34, с начинающейся цингой – 68, с развивающейся – 39» [3].

Реальная перспектива военной службы после выпуска из вузов также вряд ли могла пробудить желание становиться красным командиром, так как командир роты в Петрограде в этот период получал денежное содержание лишь в 2 раза больше красноармейского, зато в 2 раза меньше жалования электромонтера, в 3 раза меньше дровокола, в 1,5 раза меньше рядового делопроизводителя в госучреждении [4].

Недостатки в системе военного образования самым непосредственным образом сказывались на качестве командного состава Красной Армии. Поэтому задача его совершенствования стояла в ряду первоочередных задач Военной реформы 1924–1925 годов. Решать эту задачу планировалось одновременно по нескольким направлениям, основными из которых были: приведение численности и емкости вузов в соответствие с реальными потребностями Вооруженных Сил в командных кадрах; изменение оргштатной структуры в сторону максимального приближения ее к организации строевых частей; обновление командного и преподавательского состава; повышение качества обучения курсантов и слушателей; усиление партийно-политической работы. В рамках стоящих задач в первую очередь были приняты меры по сокращению численности военно-учебных заведений и приведению оставшихся к единому виду. Все имевшиеся к концу 1920 года в подчинении Главного управления вузов Наркомвоена курсы подготовки комсостава [5] были ликвидированы с середины 1923 по апрель 1924 года, а вместо них были созданы нормальные военные школы, которые с этого момента становились единственной формой подготовки среднего начальствующего состава для Красной Армии в системе военного образования.

Численность военных школ была приведена к войсковым потребностям, однако данные 1924 года показали, что и она превысила необходимое для войск количество подготавливаемых командиров, что привело к сокращению имевшихся 55 военных школ до 49 к 1 октября 1924 года. Вместе с тем были открыты 13 (3 кавалерийских и 10 смешанных) военных школ подготовки командиров для разворачивающихся национальных формирований. Низкий общеобразовательный уровень поступающих в вузы, из-за чего более трети учебного времени за весь период обучения тратилось на изучение общеобразователь-

ных предметов, потребовал открытия двух подготовительных школ и ряда подготовительных курсов при военных школах.

Параллельно шла работа по приведению организационно-штатной структуры вузов к единому виду. В 1924 году были введены единые штаты для школ каждого рода войск и единая войсковая структура (роты, батареи, эскадроны). Впервые стали применяться совместные с частями гарнизонов лагерные сборы, маневры и др. В этот же период зародилась практика стажировки курсантов на командных должностях в действующих частях.

Серьезным препятствием на пути повышения качества учебно-воспитательного процесса в вузах встала проблема их комплектования постоянным составом. Дело в том, что новая власть не могла за короткий срок своего существования создать собственную военно-педагогическую школу, способную удовлетворить потребности вузов в высокопрофессиональных военных педагогах советского типа. Комплектование же вузов военными специалистами старой школы, по мнению советского партийного и военного руководства, снижало качество военного образования, так как «военспецы», по своей сути оставаясь аполитичными, не вносили в учебно-воспитательный процесс широкую пропаганду марксистско-ленинского учения, не воспитывали будущих командиров на коммунистических идеях, что шло в разрез с целями и задачами советской военно-педагогической практики.

Устойчивое недоверие к специалистам старой военной школы, культивировавшееся в армии длительное время, самым серьезным образом сказалось на качественном составе преподавателей вузов и, естественно, на самом учебно-образовательном процессе. Постоянные «чистки», увольнения, репрессии, политика «выдавливания» привели к засилью в вузах слабо подготовленных, не имеющих педагогических навыков, порой даже малообразованных преподавателей и воспитателей.

Могло ли быть иначе, если только в ходе одной из «чисток» в Петрограде и Кронштадте в 1921 году в списки «неблагонадежных» было включено 977 бывших офицеров, из которых «изъятию» подлежало 329 человек. В их число попало значительное количество преподавателей вузов. Только в Военно-морской академии практически весь ее постоянный состав подлежал «изъятию» [6].

Реввоенсовет же более интересовался показателями социально-классового и партийного состава преподавательских кадров, а также качеством овладения ими марксистко-ленинского учения. «…У нас нет марксистски подготовленного преподавательского состава, – заявил 7 декабря 1924 года М.В. Фрунзе. – Подготовку такого состава я считаю следующей нашей задачей» [7]. А выступая 1 октября 1924 года в Военной академии при открытии нового учебного года, в качестве важнейшего программного момента деятельности всей советской военной школы М.В. Фрунзе определил: «…Нужно, чтобы командир Красной Армии в совершенстве овладел методом марксизма-ленинизма. Но этого можно достигнуть лишь в том случае, если вся работа высшей военной школы будет проникнута духом марксизма-ленинизма, если марксистско-ленинское освещение получат все основные военные дисциплины, если изучение ленинизма получит должную высоту» [8].

Отсюда становятся понятными обвинения в аполитичности, безынициативности и идеологической неподготовленности преподавателей старой школы, которые так и не смогли усвоить, каким образом осуществлять «марксистско-ленинское освещение» курса тактики, огневой, строевой подготовки, теории стрельбы и др.

Кроме того, на качество учебного процесса негативное воздействие оказывала большая недоукомплектованность вузов постоянным составом, вызванная оргштатной неразберихой. До 1 октября 1923 года недокомплект штатных должностей составлял 14 % и был ликвидирован за счет привлечения к преподавательской работе представителей действующих частей и выпускников высших военно-учебных заведений. И все же до конца 1924 года около 4 % преподавательских должностей оставались вакантными.

Серьезной проблемой продолжало оставаться комплектование вузов, особенно военных школ, дававших базовое военное образование, переменным составом. К решению этой зада-

чи в 1924 году подключился ЦК РКП(б). В тот период наряду с поступлением в вузы на добровольной основе в широкую практику стало внедряться направление на учебу по нарядам партийных, комсомольских и профсоюзных организаций. 17 июля 1924 года ЦК РКП(б) направил партийным комитетам циркулярное письмо о вербовочной компании по укомплектованию военных вузов страны. Однако слабая активность молодежи в стремлении связать свою судьбу с Красной Армией едва не провалила первый, проводимый в рамках военной реформы набор в военные школы. Обеспокоенный положением дел ЦК РКП(б) 27 октября 1924 года дал новое указание партийным комитетам всех уровней – усилить работу вербовочных комиссий по комплектованию вузов [9]. Принятые меры позволили на 8714 вакансий отправить для поступления 15922 человек, и снова при отборе особое внимание уделялось не качеству общеобразовательной подготовки поступающих, а их социальному и партийному составу. По сведениям Наркомата по военным и морским делам набор 1924 года состоял на 31,5 % из рабочих и 46,8 % из крестьян, а по партийной принадлежности в его составе имелось 14,3 % коммунистов и 35,2 % комсомольцев. Однако это не устраивало ЦК РКП(б), который, проанализировав результаты вербовочной компании 1924 года, отметил недостаточную работу партийных комитетов по классовому подбору кандидатов в вузы и потребовал ее улучшения [10].

Самым же серьезным недостатком, как показало исследование, явилось то, что в системе отбора одно из последних мест занимал уровень культурных и общеобразовательных знаний поступающих в военные школы. Недостаточное внимание к этому вопросу уже в конце 1924 года привело к исключению из вузов по неуспеваемости 5410 человек, т. е. более 62 % от числа принятых и 15,77 % от общего списочного состава курсантов.

Реакция Реввоенсовета СССР была весьма своеобразной и достаточно оперативной: 6 января 1925 года он своим приказом о мерах по борьбе с текучестью переменного состава военных школ запретил начальникам школ отчислять по неуспеваемости курсантов после двух месяцев занятий в подготовительном классе. В последующий период их обучения отчисления из вузов могли производиться лишь в исключительных случаях и только распоряжением Начальника ГУВУЗа.

Необходимо отметить, что данная практика, узаконенная РВС СССР в 1925 году, внедрилась в советскую военную школу на десятилетия, принеся ей немалый морально-нравственный урон. Непосредственные руководители учебно-воспитательного процесса в вузах, лишенные права избавляться от нерадивых курсантов, вынуждены были выпускать в войска недоучек в офицерских погонах, неграмотные действия которых очень часто негативно сказывались на культурно-нравственном облике всего командного корпуса и его престиже в общественном сознании.

Принятие Реввоенсоветом СССР подобной меры лишний раз подтверждает, что учеба в создаваемой системе военного образования не являлась первоопределяющей задачей. В создаваемую в 20-е годы модель красного командира Советская власть закладывала более необходимые для нее качества: идейную стойкость, преданность партии и ее политике; готовность ценой жизни защищать ее интересы.

Важную роль в решении задач совершенствования системы военного образования сыграло Первое Всесоюзное совещание военно-учебных заведений РККА, проведенное в апреле 1925 года в Москве. Собравшиеся вместе представители нормальных военных школ, курсов усовершенствования комсостава, национальных и подготовительных школ обсудили итоги своей деятельности за первый год военной реформы. И вновь наиболее важным для обсуждения был определен вопрос о политическом воспитании курсанта – будущего красного командира. В своих решениях съезд указал, что необходимо усилить партийно-политическую подготовку курсантов, чтобы они в одном лице могли сочетать качества единоначальника и политического руководителя; укрепить воинскую дисциплину среди личного состава вузов; улучшить состав преподавателей, командиров, политических и административных работников. Едва коснувшись проблем повышения общеобразовательного и культурного уровня бу-

дущих военачальников, съезд единодушно одобрил изменение учебного плана в сторону усиления политической подготовки курсантов за счет сокращения программы по общеобразовательным предметам [11].

Предложения съезда по совершенствованию системы военно-профессионального образования были обобщены в «Положении о военных школах РККА», введенном в действие приказом РВС СССР от 30 ноября 1925 года [12]. В положении определялись основные задачи военного обучения: строевая, политическая и научная подготовка, военно-политическое воспитание обучающихся, необходимые для службы на должностях среднего командного состава в строевых частях соответствующего рода войск.

В соответствии со специализацией школы разделялись на пехотные, кавалерийские, артиллерийские, военно-инженерные, военно-воздушные, военных сообщений и связи, специальные и объединенные (готовили по нескольким специальностям). Структурно школы определялись как строевые части в следующем составе:

а) пехотные – батальон трех- или четырехротного состава;
б) артиллерийские – дивизион двух- или трехбатарейного состава;
в) военно-инженерные и связи – батальон трехротного состава;
г) кавалерийские – дивизион двухэскадронного состава;
д) военных сообщений – батальон трехротного состава.

В учебном отношении школы делились:

1) пехотные и кавалерийские – на 3 класса (подготовительный, младший и старший);
2) артиллерийские, военно-инженерные, специальные, военных сообщений и связи – на 4 класса (подготовительный, младший, средний и старший).

При некоторых школах создавались повторные отделения, которые имели своей задачей ускоренное, в течение года, прохождение всего курса обучения средним комсоставом из войск, не имевшим военного образования. С вводом в действие данного Положения фактически была окончательно установлена система базового военного образования в СССР. Говоря о количественных характеристиках работы этой системы, необходимо отметить, что уже в 1924 году благодаря выпускам военных школ, а также в результате некоторого сокращения штатного состава должностей, некомплект в отношении среднего и старшего командного состава в Красной Армии, возникший в ходе ее сокращения, был полностью ликвидирован [13]. Что же касается качества ее работы, то оно оставалось низким. Это подтверждают многочисленные факты, обнаруженные автором в архивах Санкт-Петербурга. Особенно интересными представляются оценки командного состава, данные самими его представителями в дневниковых записях, письмах и воспоминаниях, а также в военной малотиражной печати, так как они менее всего были подвержены официальному давлению в плане завышения показателей и приукрашивания истинного положения дел, приобретших широкое распространение в армии во второй половине 20-х годов. Так, например, в журнале Высшей военной школы связи, дислоцировавшейся в Ленинграде, давалась такая оценка деятельности вузов по подготовке командиров: «Отзывы, поступающие о краскомах из Армии не совсем утешительные... – Краском слаб в вопросах военного дела. Его знания не отточены, не заострены настолько, чтобы являться частью его организма, отсюда он слабо ориентируется в новых формах и обстановке в Армии. С другой стороны, его не смогли натаскать на обучение красноармейских масс, не развили командных свойств, так необходимых для военного руководителя, и часто краском имеет совсем жалкий вид внутри казармы» [14]. Правда, в качестве причин низкого уровня подготовки новых военных руководителей были названы не недостатки в системе их образования, а, как было принято, «вековая забитость и отсталость деревни, малокультурность русской интеллигенции, взращенной на помещичьем кнуте и фельдфебельском языке» [15].

Не менее жесткая оценка давалась и уровню политических знаний командного звена, на формирование которого отводилась львиная доля учебного времени в вузах, даже в ущерб общеобразовательным знаниям: «...комсостав до сих пор безграмотен в политических и об-

щественных вопросах, даже политруки не всегда умеют передавать красноармейской массе и комсоставу понятно и правильно сущность или смысл событий, волнующих вопросов нашей политической и международной жизни» [16]. Интересными в этом плане представляются хранящиеся в архиве Санкт-Петербургского Музея артиллерии воспоминания советского генерала Найденова Ивана Ивановича, инспектировавшего в 1930 году Ленинградскую Высшую военную школу связи: «Курсантский состав, – писал он, – по своей общеобразовательной подготовке имел большие пробелы, а потому в школе преподавались общеобразовательные предметы. Имелось много и трудных курсантов. Одного пришлось отдать под суд. Он оказался настоящим жуликом. Под видом электромонтера ходил по квартирам и воровал разные вещи. Раньше он был беспризорником, воровал и от этой привычки отвыкнуть не мог» [17].

Воспоминания генерал-лейтенанта Найденова И.И. позволили под другим углом взглянуть и на некоторые итоги партийно-комсомольских вербовочных компаний 20-х годов в вузы, оцененные в официальных источниках как «кропотливая организаторская и агитационно-пропагандистская деятельность» партийных комитетов по отбору качественного пополнения в военные учебные заведения. По воспоминаниям Найденова И.И. осенью 1930 года на укомплектование вузов прибыли мобилизованные студенты после первых курсов московских институтов. Однако радость руководителей Ленинградских военных школ и их надежда на то, что наконец-то получено действительно качественное пополнение, очень быстро исчезли. Оказалось, что прибывшие были обмануты представителями Московского горкома партии, которые в напутственных речах обещали, что после годичного пребывания в военных школах они вернутся в свои институты для продолжения занятий, а учеба в вузах им будет зачтена как служба в Красной Армии. «В первые два месяца, – вспоминал Найденов И.И., – они не только командному, политическому составу и партбюро школы, но и Военному Совету Ленинградского Военного Округа попортили немало крови и нервов. Двух таких курсантов пришлось отдать под суд, и они были осуждены на длительные сроки заключения. Такое положение с такими курсантами имело место во всех военно-учебных заведениях, куда они были направлены» [18].

Если столичная партийная организация шла в этом вопросе на прямой обман и «очковтирательство», то можно представить себе, какой «качественный» отбор в вузы производился в периферийных районах страны и какая забота о качественном росте командных кадров могла проявляться в тот период местными партийными комитетами.

Сегодня можно с уверенностью утверждать, что, несмотря на большую работу Советских военных и партийных органов по созданию в 20-х годах стройной системы подготовки военно-профессиональных кадров с базовым военным образованием для прохождения службы в рядах Красной Армии, добиться серьезных успехов в вопросах *повышения* военно-профессионального, общеобразовательного и культурного уровня нового пополнения кадров начальствующего состава не удалось.

Основными причинами неудачи явились:

1) законодательно определенный низкий уровень нормативных требований к культурно-образовательным качествам поступающих в вузы и фактическая замена их социально-классовым отбором. В России, имевшей на тот момент крайне низкий уровень грамотности пролетарских слоев, такой отбор объективно не мог способствовать росту образованности и культурности командного состава армии;

2) недостатки в работе военных школ, связанные с низким качеством учебных планов и программ, наличием в них обширного общеобразовательного курса, отсутствием опытных военно-педагогических и воспитательных кадров, неудовлетворительным материально-техническим и методическим обеспечением учебного процесса, значительной идеологизацией и политизацией культурно-воспитательной работы;

3) невнимательное, часто формальное отношение советских и партийных органов к культурно-бытовым запросам вузов, к процессу их формирования достойными кадрами, как постоянного состава, так и курсантов.

Всё вышесказанное открывало широкие створы для массового выпуска в войска плохо образованных, малокультурных военачальников и грозило массовым внедрением в сознание командиров пренебрежительного отношения к своему общекультурному и образовательному облику, развитием дальнейших деградационных процессов в командирской среде, которые и так достаточно ярко проявились в 20-х годах.

Серьезным изменениям в изучаемый период подверглась система подготовки военных кадров старшего и высшего звена. Ограниченность военного бюджета определила два основных направления, по которым стала развиваться структура высшего военного образования: военные академии и военные отделения при высших учебных заведениях гражданского профиля.

К 1924 году Красная Армия имела следующие военные академии: Военную, Военно-инженерную, Военно-артиллерийскую, Военно-хозяйственную, Военно-морскую, Военно-медицинскую и Военно-политический институт имени Толмачева.

Перед началом Военной реформы их деятельность, как и остальных военных структур, была оценена неудовлетворительно. Основными недостатками, мешающими их нормальной работе, были определены: крайне малая пролетарская и партийная прослойка в преподавательской среде; засилье в профессорско-преподавательском составе специалистов старой армии и фактическое отсутствие новой советской профессуры; многопредметность и энциклопедичность учебных планов, их перегруженность предметами общего характера и недостаточность специальных дисциплин; плохое материально-техническое обеспечение учебного процесса [19].

По меньшей мере наивными сегодня звучат выводы о том, что недостатком высшей военной школы может быть высокий профессиональный и методический уровень профессорско-преподавательского состава, а также наличие в учебных программах широкого спектра общенаучных дисциплин.

Однако на самом деле старая академическая школа и ее преподавательский состав, ориентированные на высокий общеобразовательный и специальный уровень подготовки слушателей, не сумели перестроить систему обучения так, чтобы она в советский период могла готовить из необразованных и полуобразованных слушателей первоклассных командиров для старшего армейского звена. Необходимы были новые подходы, новые решения, новые программы, связанные в первую очередь со снижением уровня преподавания и пересмотром качественных характеристик обучения. В результате нужно было отказаться от того, чтобы академии называть академиями, так как по уровню даваемое ими военное образование мало что общего имело с высшей школой.

Старый преподавательский состав, запуганный репрессиями и оргмерами, по понятным причинам не настаивал на реформе высшей военной школы, так как попытки упростить учебные программы, изменить их содержание, ужесточить порядок приема в Академии и обучения в них и прочее могли быть расценены новой властью как «саботаж», «непонимание момента», «неправильная оценка красных командиров» со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Кроме того, многие преподаватели старой школы не понимали, как можно в установленные сроки обучения дать высококлассное военное образование командирам, хотя и имеющим боевой опыт, но не имеющим даже среднего общего образования. По данным военного ведомства, переменный состав имевшихся в 1924–1925 годах военных академий по образовательному уровню имел следующие показатели: с высшим образованием – 0,8 %, со средним – 52,9 %, с низшим – 46,3 % [20]. Такое положение дел значительно усложняло учебный процесс.

Пытаясь вывести высшую военную школу из тупиковой ситуации, Реввоенсовет наметил ряд мер, первой из которых было изменение системы обучения в Военной академии РККА, как основном высшем военном учебном заведении страны. Чтобы подчеркнуть важность данной задачи, приказом РВС СССР от 19 апреля 1924 года начальником Военной академии был назначен М.В. Фрунзе (по совместительству). В соответствии с новыми задачами академия претерпела структурные изменения. В 1924–1925 годах в ней имелись:

– три основных курса (на первом изучались процессы управления полком, на втором – дивизией, на третьем – корпусом);
– факультет снабжения;
– восточный факультет.

В данном составе академия была обязана давать высшее военное образование по командной, штабной и научно-педагогической профессионализации, а также готовить специалистов военно-снабженческой службы для центрального аппарата и работников для военно-специальной *деятельности* на Востоке.

Соответственно, был пересмотрен учебный план и учебные программы. Значительно был поднят удельный вес социально-экономического цикла, военно-исторического цикла, в котором особое место отводилось кафедре истории гражданской войны. По указанию М.В. Фрунзе, за счет сокращения курсов стратегии и оперативного искусства, был значительно увеличен курс тактики. Выступая на Первом всесоюзном совещании Военно-научного общества СССР 22 мая 1925 года, он так обосновал свое решение: «Нам нужно, чтобы Военная академия дала Красной Армии сейчас таких руководителей, которые позволили бы нам изжить тактическую немощь и помогли бы всему комсоставу Красной Армии подковаться в этом слабом для нас отношении» [21]. Данное решение было, безусловно, шагом назад для высшей военной школы, так как именно она имела своим основным предназначением, наряду с расширением общенаучного кругозора и совершенствованием специальных военных знаний, давать глубокие знания и навыки подготовки и проведения войсковых операций оперативного и стратегического масштаба, что само по себе и определяло данный уровень военного образования как высший.

Таким образом, можно сделать вывод, что проводимые реформы высшей военной школы были направлены не столько на ее подлинное совершенствование, сколько на приведение всей ее системы к требованиям дня и максимальному соответствию общей политике военного строительства 20-х годов. Крупным изменениям подверглись и другие военные академии. К 1926 году Красная Армия кроме Академии РККА располагала следующими высшими военными учебными заведениями, дислоцировавшимися в основном в Ленинграде:

1) Военно-техническая академия РККА им. Ф.З. Дзержинского, готовившая начальствующий состав военно-инженерного дела, специалистов по фортификации, конструкции вооружения, химиков и т. д. Имела факультеты: строевой, механический, химический, фортификационно-строительный;

2) Военно-воздушная академия РККА им. Н.Е. Жуковского, готовившая кадры для командных, штабных и инженерно-технических должностей. Имела факультеты: инженерный и службы воздушного флота с морским отделом. При академии были открыты курсы подготовки начальников, технических частей и служб ВВФ;

3) Военно-морская академия, готовившая специалистов в области общего военно-морского дела, а также гидрографии, машиностроения, кораблестроения и электротехники. Каждый факультет имел подготовительные курсы, а также действовали курсы усовершенствования высшего начальствующего состава флота;

4) Военно-медицинская академия с курсами усовершенствования военных врачей и школой военных лекарских помощников;

5) Военно-политический институт им. Н.Г. Толмачёва был реорганизован в Военно-политическую академию с двумя факультетами: военно-политическим и общественно-

педагогическим. При академии были созданы курсы усовершенствования высшего политсостава армии и курсы переподготовки преподавателей политработы в вузах.

Для подготовки других групп военных специалистов были привлечены высшие учебные заведения гражданского профиля через создание в них специальных военных отделений:

– военно-хозяйственное отдаление при Институте народного хозяйства им. Плеханова;

– военно-геодезическое отделение при Московском межевом институте;

– отделение военных сообщений Ленинградского института инженеров путей сообщения;

– военно-электротехническое отделение Ленинградского электротехнического института им. Ульянова;

– военное отделение Казанского ветеринарного института.

Кроме того, военное ведомство имело своих стипендиатов при Зоотехническом институте и на механическом факультете Ленинградского технологического института.

Привлечение к военно-образовательной деятельности гражданских высших учебных заведений изменило структуру военных академий. В связи с созданием военного отделения в институте им. Плеханова и открытием факультета снабжения в Военной академии РККА была расформирована Военно-хозяйственная академия. Открытие электротехнического, геодезического и путей сообщения отделений при гражданских вузах вызвало сокращение соответствующих факультетов в Военно-инженерной академии, что обусловило ее слияние с Артиллерийской и реорганизацию их в Военно-техническую академию (Приказ РВС СССР от 6.05.1925 г. № 469).

На сегодняшний день весьма затруднительно оценить итог структурных изменений военно-академической школы, так как отсутствуют какие-либо серьезные научные исследования данного процесса. Сам же факт того, что бурный технический прогресс в военной сфере заставил буквально через несколько лет вновь реорганизовывать военные академии, создавать заново Артиллерийскую, Инженерную, академию Тыла и др., говорит о том, что вряд ли государство в конечном итоге получило от этой реорганизации экономическую выгоду, на которую ссылались ее организаторы при подведении итогов принятых мер. А если учесть, что любая научная школа сильна в первую очередь своей стабильностью, то и в этом вопросе высшая военная школа оказалась в явном проигрыше.

Серьезным изменениям подвергся постоянный состав военных вузов, причем явно не в сторону его качественного улучшения. Проверка состава профессоров, преподавателей и адъюнктов военных академий привела комиссию РВС СССР к выводу о том, что он неудовлетворителен с точки зрения научной и педагогической квалификации, возраста и политической благонадежности. В результате из 777 человек данной категории, имевшихся в штате академий, 177 человек в 1924 году были уволены в запас или переведены на другую работу [22]. Но даже после этого кадровый состав оценивался военным и политическим руководством страны как не соответствующий содержанию военно-кадровой политики. В целом же постоянный состав высших военно-учебных заведений к 1926 году характеризовался данными, приведенными в табл. 1.

Интересными представляются данные об образовательном уровне постоянного состава академий, особенно в сравнении с данными, характеризующими образовательный уровень всех офицеров старой армии перед началом Первой мировой войны (табл. 2) [23].

Из приведенных данных видно, что образовательный уровень постоянного состава Советских военных вузов в 20-х годах был существенно ниже даже средних его показателей по офицерскому корпусу старой армии. Высокая общенаучная и профессиональная подготовка профессорско-преподавательского состава, присущие военно-академической школе, с проведением организационно-кадровых изменений получили устойчивую тенденцию к снижению, что непосредственным образом влияло на качество учебного процесса в военных вузах и подготовку специалистов с высшим военным образованием.

Таблица 1

Постоянный состав высших военно-учебных заведений к 1926 году

№	Состав	В % к общему количеству
1	Социальный состав:	
	– рабочих	8,9
	– крестьян	12,6
	– из прочих (из них бывшие дворяне)	78,5 (12,6)
2	Партийный состав:	
	– членов РКП(б)	11,9
	– кандидатов	2,0
	– комсомольцев	3,8
	– беспартийных	82,3
3	Возрастной состав:	
	– до 30 лет	43,4
	– от 30 до 40 лет	34,2
	– от 40 до 50 лет	17,1
	– старше 50 лет	5,3
4	По образованию:	
	– с высшим	23,8
	– со средним	41,8
	– с низшим	34,4

Таблица 2

Данные об образовательном уровне постоянного состава военно-учебных заведений

Постоянный состав вузов	Академии			Воен. училища			Юнкер. училища			Гражд. завед.		
	1910	1911	1912	1910	1911	1912	1910	1911	1912	1910	1911	1912
Все офицеры (в % к общему количеству)	5,8	6,2	6,7	49	45,5	48,2	42,6	46	43	2,6	2,3	2,1

Не способствовала решению возникших проблем и кадровая политика комплектования военных академий слушателями, составлявшими их переменный состав, в которой социально-классовые характеристики так же превалировали над общеобразовательными, как и при отборе курсантов военных школ.

К 1925 году состав слушателей военных вузов характеризовался данными, представленными в табл. 3 [24].

В условиях резкого падения профессионального уровня преподавательского состава, недопустимого снижения общеобразовательного уровня обучаемых, высшая военная школа была обречена на ухудшение качества своей работы. Хотя по идее конечным итогом должна была стать подготовка не просто высококлассных специалистов военного дела, а людей высокообразованных и культурных, обладающих не только широким спектром общенаучных знаний, глубиной их усвоения, но и умением успешно применять полученные знания на

практике. В созданных для высшей военной школы условиях, решение подобной задачи было делом не только затруднительным, но и вряд ли возможным.

Таблица 3

Состав слушателей военных военно-учебных заведений к 1925 году

Состав	в % к общему количеству
Социальный состав:	
– рабочих	34,2
– крестьян	30,6
– прочих	35,2
Партийный сочетав:	
– членов РКП(б)	74,5
– кандидатов	3,0
– беспартийных	22,5
Возрастной состав:	
– до 25 лет	14,2
– до 30 лет	52,3
– до 40 лет	33,5
По образованию:	
– с высшим	0,8
– со средним	52,9
– с низшим	46,3

Военное же руководство страны подобное состояние системы высшего военного обучения вполне устраивало, иначе как можно объяснить оценку работы военных вузов, данную Наркомом обороны Ворошиловым К.Е. в докладе IV Всесоюзному Съезду Советов в 1927 году «Мы имеем шесть академий, в которых за последние годы подготовлено около 2000 человек высококвалифицированных работников. Военные академии представляют собой вполне сложившиеся высшие военно-учебные заведения с хорошо подобранными преподавательским и профессорским составом, с установившимися методами учебно-воспитательной и ученой работы. Это обеспечивает дальнейшее расширение кадров, столь необходимых в условиях современных боевых требований, вполне подготовленных специалистов всех родов оружия» [25].

Значительное место в общей системе образования военных кадров отводилось курсам переподготовки. Обучение на курсах не требовало большого временного отрыва командиров от исполнения служебных обязанностей, что в значительной степени объясняет ту большую роль, которая отводилась им военным руководством армии в деле ликвидации профессиональной и общеобразовательной неграмотности красных командиров.

Еще в 1921 году в Петрограде были созданы Высшие академические курсы (ВАК), перед которыми была поставлена задача вести переподготовку высшего командного звена Красной Армии. Собственно, их академичность была обусловлена высоким служебным положением слушателей – старших и высших военачальников Красной Армии, выдвинувшихся на высокие военные посты благодаря заслугам перед Советской властью, а не уровню их обучения. Курсы в течение короткого времени способны были давать лишь азы военного дела в вопросах боевого применения и обеспечения боевых действий частей и соединений. Через просуществовавшие до осени 1924 года Высшие академические курсы был пропущен практически весь высший командный состав Красной Армии. Оценивая их работу, М.В. Фрунзе отмечал: «Результаты ее огромны. Высший комсостав Красной Армии несомненно вырос значительно и стал гораздо более однообразным по своей подготовке..., переподготовка основного кадра

высшего комсостава нашей Красной Армии закончена. Государство дало им все, что было возможно, и теперь дело их самих позаботиться о расширении своего багажа» [26]. На самом деле этот «багаж» для многих советских военных руководителей самого высокого уровня так и остался наполненным теми усеченными военными знаниями, которые были получены ими на ускоренных курсах ВАК в начале 20-х годов.

В ходе военной реформы приказом Реввоенсовета СССР № 1070 от 12 августа 1924 года Высшие академические курсы были реорганизованы в Высшие курсы усовершенствования, предназначенные для переподготовки командиров и начальников, окончивших ВАК и Военную академию РККА. Их программа была рассчитана на ознакомление старшего и высшего начсостава с последними достижениями в военной науке и технике, а также пополнение и совершенствование имевшихся военных знаний. С начала 1926 года, в целях единой военно-профессиональной переподготовки старшего и высшего командного и политического состава, Высшие курсы усовершенствования были объединены приказом РВС СССР № 490 от 2 мая 1925 года с Военно-политическими академическими курсами в Курсы усовершенствования высшего начсостава РККА при Военной академии с отделениями военным и политическим. В этом виде они неизменно просуществовали до 30-х годов и являлись основной формой переподготовки командно-политического состава РККА в звене от дивизии и выше.

Реорганизации подверглись также высшие военные школы и курсы усовершенствования по специальностям среднего и старшего начсостава всех имевшихся родов войск, а также повторные курсы комсостава при военных округах. Находившиеся в полном подчинении окружного командования повторные курсы отличались крайней пестротой стоящих задач, оргштатных структур, организацией и методами обучения, учебными программами и др. Основной задачей этих курсов было дать некоторый объем знаний и, главное, закрепить имеющийся опыт руководства подразделениями в повседневной деятельности и в бою на основе имевшихся руководящих документов. Специальных научно-образовательных программ данные курсы не предусматривали и образования как такового не давали.

В августе 1924 года состоялась конференция руководителей окружных повторных курсов, которая определила основные направления реформы этого вида подготовки красных командиров. Было предложено изменить задачу курсов с целью доподготовки комсостава, окончившего только ускоренные курсы в период Гражданской войны, до уровня командиров, окончивших нормальную военную школу в мирных условиях. Для этого предлагалось учебные программы повторных курсов привести к виду учебных программ последнего класса нормальных военных школ с добавлением некоторых общеобразовательных предметов. В составе окружных курсов предполагалось иметь только стрелковые и кавалерийские классы, специализация которых не требовала преподавания сложных наукоемких дисциплин инженерно-технического профиля. Комплектоваться повторные курсы должны были исключительно средним комсоставом звена «взвод–рота», способным усвоить в течение учебного года, определявшегося в 10 месяцев, сокращенную комбинированную программу нормальной военной школы. Комсостав, не удовлетворявший этим требованиям, должен был направляться в школы краскомов с двухгодичным сроком обучения.

В соответствии с предложениями Конференции повторные курсы были переданы в общую систему Главного управления военно-учебных заведений и приравнены к типу нормальных школ, причем большинство из них были расформированы и преобразованы в отделения при нормальных военных школах. Эти мероприятия фактически завершили работу по реформированию советской военно-образовательной системы, которая во второй половине 20-х годов приобрела достаточно четкий вид и логику действий по военно-образовательной подготовке кадров начсостава армии во всех звеньях военного управления.

Однако, подчеркнем еще раз, что, несмотря на произведенные изменения в системе подготовки военных кадров, уровень предоставляемого ею военного образования оставался весьма невысоким. Государственная политика 20-х годов, направленная на всемерную пролетаризацию командного корпуса привела к утере им на долгое время культуронесущей функции,

значительному снижению его прежнего социального статуса и той традиционной роли, которую офицерский корпус играл в развитии культуры России на протяжении многих веков.

Список используемых источников

1. Центральный государственный архив историко-политических документов г. Санкт-Петербурга (далее – ЦГАИПД СПб). – Ф. 1. – Оп.1. – Д. 871. – Л. 28.
2. Центральный государственный архив г. Санкт-Петербурга. – Ф. 5770. – Оп. 10. – Д. 19. – Л. 88.
3. ЦГАИПД СПб. – Ф. 16. – Оп. 16/1. – Д. 474. – Л. 22.
4. ЦГАИПД СПб. – Ф. 16. – Оп. 46/1. – Д. 471. – Л. 65.
5. Военно-исторический журнал. – 1965. – №4. – С. 3–16.
6. Военно-исторический журнал. – 1965. – №2. – С. 58.
7. *Фрунзе М.В.* Собрание сочинений: в 3 т. – М., Л.: Гос. изд. – Т. 2. – С. 154.
8. Там же. – С. 163.
9. Известия ЦК РКП(б). – 1924. – №4. – С. 16.
10. Известия ЦК РКП(б). – 1925. – № 21.
11. Красная звезда. – 1925. – 16 апреля.
12. Спутник политработника. – №15. – 1925. – С. 66.
13. *Берхин И.Б.* Военная реформа в СССР (1924–1925 г.г.). – М.: Воениздат, 1958. – С. 261.
14. Архив военно-исторического музея артиллерии инженерных войск и войск связи (далее – ВИМАИВ и ВС). – Ф. 34Р. – Оп. 1. – Д. 7. – Л. 2.
15. Там же.
16. Там же. – С. 8.
17. Там же. – Ф. 47Р. – Оп. 1. – Д. 2. – Л. 15.
18. Там же. – Л. 16
19. *Берхин И.Б.* Указ. соч. – С. 278.
20. Там же. – С. 285.
21. *Фрунзе М.В*. Избранные произведения. – М.: Воениздат, 1977. – С. 467.
22. *Берхин И.Б.* Указ. соч. – С. 284.
23. *Волков С.В*. Русский офицерский корпус. – М.: Воениздат, 1993. – С. 356.
24. *Берхин И.Б.* Указ. соч. – С. 285.
25. *Ворошилов К.Е.* Оборона СССР, 2-е изд. испр. и доп. – М.: Воен. вестн., 1927. – С. 26.
26. *Фрунзе М.В*. Собрание сочинений: в 3 т. – М., Л.: Гос. изд. – Т. 2 – С. 171.

О.В. Гуторович,
кандидат философских наук

ПРОБЛЕМА ВОЙНЫ И МИРА В ИСТОРИИ ФИЛОСОФИИ

Статья призвана показать, что военно-философская мысль имела существенное развитие на протяжении всей истории философии. Ни одна историческая эпоха не осталась в стороне от осмысления феномена войны. Стараясь разгадать природу войны, философы выносили разнообразные суждения о ее истоках, сущности, подготовке и ведении, классифицировали войны и акцентировали внимание на взаимосвязи войны и политики. Перед автором стоит задача показать многоплановость и неоднозначность восприятия войны – одного из наиболее распространенных явлений мировой политической практики.

Ключевые слова: война, диалектика войны, политика, вечный мир, гуманизм, пацифизм, сложное социальное явление.

Начиная с глубокой древности, война являлась постоянным спутником развития человечества. Вполне оправданным в этом смысле является заключение У. Черчилля о том, что, как показывает история, «война – это удел человеческой расы» [1].

Сам термин «война» происходит от древнегерманского слова «werra», корни которого можно обнаружить, например, в английском слове «war». Корни древнегреческого слова «polemos», также означающего «война», сохранились в словах «полемика», «полемический», «полемист». Латинский его аналог «bellum» отразился в определении «belligerant» (воинственный). В тех или иных формах это слово присутствует во всех мировых языках как прежних эпох, так и современности. Это служит одним из показателей универсальности данного феномена, сопровождавшего всё цивилизационное развитие человечества, на протяжении которого шло постоянное его осмысление.

Показательно, что осмысление различных аспектов войны начинается уже в учениях Древнего Востока и Античности. Выдающиеся мыслители прошлых веков, формулируя свое отношение к войне и миру, пытались определить сущность войны как особого социально-политического явления; ее генезис; место и ее роль в формировании государственности; глубинные закономерности и тенденции изменения сущности войны; возможности ее устранения; проблему участия человека в войне и экономическое обеспечение войн и др.

Одни из первых упоминаний о войне содержатся в древневавилонских хрониках XVIII в. до н. э. о деятельности царя Хаммурапи, в догматах брахманизма «Законы Ману» (VI в. до н. э.), в сочинениях древнекитайского военного теоретика и полководца Сунь-цзы (около V в. до н. э.), в философско-политологических трактатах Древнего Рима и Греции, а также в других научных и литературных памятниках Античности.

Уже в «Законах Ману» (VI в. до н. э.) были заложены основы того, что позже получило название «право войны» − объявление войны, реквизиция собственности врага, содержание военнопленных, условия перемирия и другие принципы, которые в последующем нашли отражение в положениях Гаагского и Женевского права, разработанных только лишь в XX столетии.

Своеобразным сплавом философии, искусства и науки ведения войны является военно-политический трактат «Искусство войны» (V в до н. э.) Сунь-цзы. Несмотря на его временную удаленность от реалий сегодняшнего дня, можно смело утверждать, что по глубине рассматриваемых вопросов «Искусство войны» является одним из лучших произведений о войне, не утратившим своего значения вплоть до настоящего времени, о чем свидетельствует, например, тот факт, что многие его положения используются в ходе планирования и проведения военных действий современности. Так, например, в ходе агрессии НАТО в Югославии фактически была воплощена формула Сунь-цзы о достижении победы посред-

ством реализации триединой задачи: «сначала разрушить планы противника, затем расстроить его союзы и, в конечном итоге, – разбить его войско».

Лучшая же война, по словам Сунь-цзы, – это та война, победа в которой достигается без применения силы, путем использования других средств, заставляющих противника отказаться от своих политических целей, и тем самым сделать его уступчивей, «покорить чужую армию, не сражаясь» [2]. Именно подобная форма действий и была реализована на этапе вторжения американских войск в Ирак в 2003 году. Нельзя не отметить и мысль Сунь-цзы относительно того, что «война ценит победу и не уважает продолжительность» [3].

Стремление раскрыть природу войны свойственно мыслителям Древней Греции. Труды Геродота, Страбона, Фукидида и других древнегреческих историков и философов посвящены проблемам исследования войн и вооруженных конфликтов.

Внимания заслуживает позиция Фукидида (V–IV вв. до н. э.), отметившего тесную взаимосвязь войны с состоянием жизни народов и государственными деяниями [4]. Автор «Истории Пелопоннесской войны» исследует политические мотивы, приведшие к ней, описывает имевшие в тот период место социально-политические процессы, в том числе государственные перевороты и другие не менее значимые события, непосредственно связанные с Пелопоннесской войной. Фукидид отрицает влияние на ход исторического процесса всего сверхъестественного. Движущими силами войны, по его мнению, являются естественные причины в их переплетении. Они должны быть истолкованы сами по себе, в их закономерном развитии, в связи с общими условиями политической жизни и теми принципами, которыми определяется образ действий ее отдельных деятелей.

Как «часть искусства политического» рассматривали войну Платон и Аристотель, определяя этим диалектическую взаимосвязь между войной и политикой. Примечательно, что в «Политике» Аристотеля одним из основных понятий является «добродетель», служение которой, по мнению философа, предполагает «занятие политикой и войной». Несмотря на то, что самого Аристотеля едва ли можно отнести к категории военных теоретиков, тем не менее нельзя не учитывать, что именно он на протяжении длительного времени был учителем и наставником Александра Македонского, способствовавшим формированию мировоззрения великого полководца. В дальнейшем Александр Македонский стал основателем уникального полиэтничного государственного образования – Македонского царства. Его значение в истории человеческой цивилизации определялось не только интеграцией в единое политическое пространство народов Эллады, Передней Азии и Северо-Восточной Африки, но и созданием фундамента эллинистической цивилизации на завоеванном пространстве. Это предопределило развитие данных регионов на столетия.

История военно-философской мысли свидетельствует, что в Древнем Риме наиболее ранней научной работой, посвященной вопросам военного искусства, является трактат римского военного историка и теоретика Флавия «О военном деле», написанный в 410 году, где анализируется боевая практика римских полководцев. Его мысли, сформулированные в изречениях «Война приятна только тем, кто ее не испытывал», «Кто хочет мира, пусть готовится к войне», получили всемирное признание [5]. Вопросы войны и мира интересовали и другого выдающегося представителя древнеримской цивилизации Марка Туллия Цицерона, определявшего войну как вынужденный акт, допустимый лишь в случае безуспешности мирных переговоров.

Таким образом, мы видим, что философия античного периода не оставалась в стороне от проблем, связанных с войной и миром, и философы оставили значительный теоретический материал по данной тематике. Их интересовали истоки, причины, сущность войн. Они стремились классифицировать войны, сформулировали также первые военно-философские категории.

Последующий период развития человечества, известный как средневековье, характеризовался засильем библейских канонических воззрений, что нашло отражение в том числе в работах мыслителей по проблемам войны.

Так, в частности, в философско-исторических концепциях Ав. Августина, Ф. Аквинского и других религиозных мыслителей война осмысливается под воздействием теологических догматов, определяющих ее как непрекращающуюся борьбу сил добра и зла [6]. Формируется концепция «метафизической войны» (психомахии) и апокалиптика, иллюстрирующая финальное сражение добра и зла, света и тьмы, ангелов и демонов.

Следует также заметить, что Ав. Августин был первым, кто сформулировал теорию справедливой войны (bellum justum). Он видел Рим захваченным германскими варварами в 410 году, и это зрелище его глубоко потрясло, он был озабочен угрозой гибели цивилизации. Может быть, именно поэтому Ав. Августин так упорно защищал христиан и настаивал на их участии в войне.

Основой представлений Ав. Августина о войне и мире является идея непреходящей греховности человеческой натуры. Мир – это идеал, недостижимый в земном, человеческом царстве, и греховность людей будет всегда вызывать раздоры и столкновения. Именно поэтому необходимо государство как инструмент исправления последствий человеческой испорченности. Государство обеспечивает порядок, в том числе и насильственными мерами, и долг граждан – исполнять распоряжения законных властей. Христианин должен, в частности, воевать под знаменами своего императора. В принципе участие христианина в войне законно при выполнении ряда условий. Во-первых, война должна преследовать справедливые цели – цели установления правосудия и пресечения беззакония. Во-вторых, воюющие должны исходить из христианских мотивов любви к ближнему. Даже врагов своих обязаны они любить и стремиться к их исправлению и спасению их душ. Считая христианскую любовь понятием чисто духовным, Ав. Августин не находил противоречия между идеалом любви к ближнему и необходимостью телесно умертвить его в бою. В-третьих, война должна вестись под руководством законных властителей. Никто не имеет права обнажать меч по собственной воле без предписания государственной власти. В-четвертых, методы ведения войны должны быть милосердны. Воины не должны заниматься грабежами и поджогами, устраивать резню. Наконец, в-пятых, в войне не должны участвовать духовные лица.

Принципы, провозглашенные Ав. Августином, должны, в его представлении, руководить деятельностью как государства, так и отдельных граждан при ведении войны, но они вовсе не означают, что исходя из них любой христианин имеет право решать, идти ли ему на войну. Повиновение законной власти однозначно трактуется как долг гражданина.

Необходимо признать, что Ав. Августин не только сформулировал теорию «справедливой войны», которой суждена была долгая жизнь, но и стал создателем первого в истории человечества кодекса ведения боевых действий, включавшего и этические требования к отдельному солдату. Идеи Ав. Августина были восприняты Ф. Аквинским, утверждавшим, что война объявляется только по приказу суверенов и для нее необходимы законные основания. Правда, достаточным основанием для начала войны, по мнению Аквината, может быть месть за обиду или же наказание в том случае, если правонарушитель отказывается компенсировать причиненный им ущерб или убытки. Что же касается ведения военных действий, то воюющие стороны обязаны в первую очередь думать о добре и действовать соответственно, избегая зла.

Сменившая Средневековье эпоха Возрождения вывела на историческую авансцену гигантов мысли, талантливых философов, гениев художественного мастерства, внесших в культуру народов бесценные сокровища. Среди них выдающийся мыслитель Н. Макиавелли (1469–1527), долгое время незаслуженно подвергавшийся остракизму. Причиной этого является приписываемое ему изречение о том, что «цель оправдывает средства». Вырванная из контекста, упрощенная и извращенная, эта фраза стала основным средством дискредитации мыслителя. В действительности же она звучит иначе: «если цель достигнута, если государь заслужил признание подданных и устранил завистников, то он на долгое время обретает могущество, покой, почести и счастье» [7].

Что касается войны, то, будучи реалистом, в работе «Государь» он отмечал, что «цель всех тех, кто когда-либо начинал войну, всегда состояла в том, − и это вполне разумно, − чтобы обогатиться самим и сделать врага беднее. Ни для чего иного победа не нужна, приобретений же хотят для того, чтобы увеличить свою мощь и ослабить противника» [8]. С этим трудно не согласиться. Тем более что и современные политические реалии, связанные, например, со стремлением США и их союзников по НАТО к глобальному военно-политическому доминированию, на практике подтверждают данный посыл Н. Макиавелли.

Первым, кто по-настоящему осудил войну, был Эразм Роттердамский (1469–1536). В 1516 году он сочинил (в жанре речи) и издал «Жалобу мира», в которой с позиций гуманизма показывал пагубность завоевательных войн, приносивших неисчислимые бедствия народам Европы, и называл их виновников – князей, государей, духовенство, забывших Священное писание и одобрявших братоубийственную войну. «В человеческом обществе, – писал этот мыслитель, – всё полно глупости, всё делается дураками среди дураков, но все-таки величайшей глупостью является война, которая ведется всякого рода подонками общества» [9]. Мир скорбит о бедствиях, испытываемых вследствие раздоров и войн, порождаемых безумием этих людей. Он считал, что блага мира, к которым, казалось бы, только и должны стремиться христиане, перечеркиваются злом войны.

Дезидерий Э. Роттердамский, прозванный «князем гуманистов», обращал внимание не только на то, что «война сладка для тех, кто ее не знает» [10], но и указывал на наличие собственной логики начавшегося конфликта, который разрастается подобно цепной реакции, вовлекая в орбиту своего влияния все новые слои населения и страны. Анализируя причины войн, он подчеркивал, что часто низменные и корыстные качества правителей ввергают народы в войны. Тем не менее при всем своем пафосе и обличительности трактат о мире не шел дальше морального призыва к миролюбию и при всех своих достоинствах не смог стать таким документом, который бы подсказал выход из непрекращающегося состояния войны.

В 1539 году появилась «Военная книга мира» («Das Kriegbüchlein des Friedens») Себастьяна Франка (1499–1543). И если у Э. Роттердамского мир жалуется, то у С. Франка он зовет к борьбе: война против войны – единственно возможная и священная война. Автор обосновывает мысль о том, что война – дело рук человеческих, поэтому и дело мира надлежит обеспечивать людям. Франк связывал появление мирного политического порядка с устранением имущественного неравенства среди людей.

Немецкий философ-мистик, богослов, историк С. Франк был одним из первых последовательных пацифистов, стремившихся доказать, что война не только противоречит учению Христа, но и является «дьявольским, бесчеловечным делом, отвратительной чумой… открытой дверью для всех пороков и грехов, разрушением земли и души, тела и чести» [11]. Он же впервые обосновывает идею личной ответственности за выполнение преступного приказа на войне. Всегда ли долг и присяга оправдывают любые действия солдата в вооруженном конфликте? Франк решительно выступал против однозначно утвердительного ответа на этот вопрос. Послушание тирану, по его мнению, богопротивно, и повиноваться ему нельзя.

Несмотря на то, что официальная протестантская историография прилагала особые усилия для того, чтобы замолчать труды С. Франка, они оказали большое влияние на последующее реформационное движение в католической церкви, прежде всего на формирование протестантских сект («мирных анабаптистов», менонитов, баптистов, методистов, арминиан, квакеров), которые известны своим неприятием насилия и войны. Обращает на себя внимание тот факт, что дальше общих призывов к миру в это время никто из писавших на эту тему авторов не шел. Программу действий в пользу мира и против войны дала следующая эпоха.

В научно-теоретических трактатах, принадлежащих мыслителям XVII века, представления о войне находят свое дальнейшее развитие. Так, огромным успехом пользовался фундаментальный труд Гуго Гроция «Три книги о праве войны и мира» (1625), выдержавший 77 изданий, большей частью на латыни, но также на голландском, французском, немецком, английском и испанском языках. В посвящении к нему указывается, что книга написана «в за-

щиту Справедливости». Работа состоит из трех книг. Книга I раскрывает концепции войны и природной справедливости, рассматривая вопросы справедливой войны. Книга II определяет три «справедливых причины» для войны: самооборона, возмещение убытка и наказание; детально анализирует основные международно-правовые институты. Книга III обращается к вопросу, какими нормами руководствоваться, когда война началась, а также намечает пути к скорейшему прекращению всех войн.

Предпринимая свое исследование, голландский мыслитель был убежден, что о войне следует говорить как о естественном для человека состоянии. «Самые первые побуждения природы ничуть не противоречат войне, даже напротив, скорей ей благоприятствуют. Самая цель войны – сохранение в неприкосновенности жизни, сохранение и приобретение вещей, полезных для жизни, – вполне соответствует первым побуждениям природы», – отмечал Г. Гроций [12]. Война проистекает из самой человеческой природы, представляет собой существенное условие человечности или исход присущей человеку потребности разрушения, является роковой неизбежностью.

В то же время бессмысленные жестокости и вероломство, сопутствовавшие войнам между современными ему государствами, в частности Тридцатилетней войне, встречают осуждение со стороны Г. Гроция. Он считает, что сердца людей, «утомленные распрей», жаждут «повсеместного» водворения мира.

Тем не менее в ближайшее время, по мнению Г. Гроция, войны между государствами будут продолжаться. Коль скоро по тем или иным причинам избежать войны невозможно, то она должна вестись в соответствии с принципами права и гуманности. Философ вступает в спор с людьми, которые утверждают, что в международных отношениях все решает сила и что во время войны всякие законы смолкают. Увещевая правителей «по возможности» избегать войны, Гуго Гроций призывал в отношениях между народами «соблюдать добросовестность, чтобы не исчезла надежда на мир» [13]. Войну следует подчинить правовому нормированию. Работая в этом направлении, он создает учение о праве войны и мира, ориентированное на формирование нового типа мирового сообщества. В его основе должны лежать принципы равенства, сотрудничества и взаимности в отношениях между всеми людьми, народами и государствами, а также идея единого международного правопорядка, добровольно устанавливаемого и последовательно соблюдаемого суверенными государствами. Вклад Г. Гроция в разработку новой светской доктрины права международного общения дал основание для именования его «отцом международного права».

В XVIII веке воззрения Г. Гроция были подвергнуты критике философами-просветителями. В частности, Шарль Луи де Монтескье (1689–1755) в работе «О духе законов» (1748) отмечает, что «война всех против всех» не есть основная особенность первобытных людей и, следовательно, Г. Гроций не прав, говоря о войне как естественном состоянии человека. Приписанное первобытным людям «желание властвовать друг над другом» [14] не есть их родовое свойство. Естественным состоянием человека является мир, а воевать первобытного человека заставляет ощущение им своей слабости [15]. В силу этого «нападения друг на друга не первичны» [16].

Войны в первобытном обществе достаточно редки, с течением времени их количество увеличивается. В процессе развития человеческого общества приходит осознание, что «каждое отдельное общество обладает силой – отсюда состояние войны между народами. Отдельные лица в каждом обществе начинают ощущать свою силу и пытаются обратить в свою пользу главные выгоды этого общества – отсюда война между отдельными лицами» [17]. Так появляются межгосударственные и внутригосударственные войны. То есть война – это социальное явление.

Ш. Монтескье не дает однозначной оценки феномену войны. Конечной целью войны, убежден он, является сохранение своего государства. Данный постулат, во-первых, оправдывает в его глазах бытийственность войны, а во-вторых, позволяет сделать вывод, что для существования общества война необходима. По мнению Ш. Монтескье, война обладает

созидательной силой, так как «завоевание есть приобретение; но дух приобретения связан с духом сохранения и пользования, а не с духом разрушения» [18]. В то же время он указывает и на разрушительный характер войны: проигравшая сторона несет колоссальный ущерб. Более того, с ростом науки и включением ее в военную промышленность предугадать исходы последующих войн будет невозможно. Разрушительная мощь войны может погубить человечество.

Жан-Жак Руссо (1712–1778), так же как и Ш. Монтескье, возражал Г. Гроцию относительно склонности диких людей к войнам, доказывая, что война есть порождение гражданского общества, где властвует собственность. Последняя и служит причиной войн, порождая неравенство, зависть и жажду обладания вещами. Война – чисто государственное мероприятие. «Война, – подчеркивал он, – это отношение отнюдь не человека к человеку, но Государства к Государству, когда частные лица становятся врагами лишь случайно и совсем не как люди и даже не как граждане, но как солдаты; не как члены отечества, но только как защитники его» [19]. После войны завоеватели и завоеванные навсегда остаются в состоянии готовности к войне. Эти условия не позволяют ставить вопрос о вечном мире.

Тем не менее, начиная с конца XV века и вплоть до начала XIX века, военно-философская мысль рождает многочисленные трактаты о «вечном мире». Интерес к данной тематике обусловлен историческими событиями, в которые были вовлечены все европейские государства. Достаточно вспомнить Великую крестьянскую войну в Германии 1525 года, разгром которой сопровождался беспрецедентным по масштабу и умыслу зверским калечением людей. Историческая память рисует также картины нетерпимого отношения к людям, которое продемонстрировала Реформация (XVI–XVII века), и огромное количество сожженных, замученных и убитых вследствие Тридцатилетней войны 1618–1648 годов. Такое развитие событий, безусловно, делало актуальными мечты о мире и проекты его реализации.

Выполнению такой задачи целиком отдался французский аббат Шарль Ирине де Сен-Пьер (1658–1743). В 1712 году он публикует «Записку о сохранении вечного мира в Европе», а в 1713–1717 годах у него выходит в свет трехтомное произведение «Проект вечного мира в Европе». В своей программе «вечного мира» он призывал к веротерпимости и уделял большое внимание развитию международного права как регулятора международных отношений на миролюбивой основе. Кроме того, Сен-Пьер выражал уверенность в том, что только просвещенность народов способна быть гарантией мирного развития.

Новый период в разработке идеи «вечного мира» был связан с эпохой Великой французской революции конца XVIII века. Многим казалось, что успех революционного дела в Европе приведет к исчезновению войн. Однако революционные оборонительные войны французской республики постепенно выродились в войны захватнические. А заявления идеологов буржуазии, что борьба за всеобщее благо через год-другой приведет к миру и социальной гармонии, оказались на поверку «героической иллюзией». И нужно было обладать глубоким пониманием диалектики общественного развития, чтобы в этих условиях и с еще большей настойчивостью поставить вопрос о мире между народами. Именно так поступил И. Кант (1724–1804). В 1795 году у него вышел трактат «К вечному миру», в самом названии которого заложена двусмысленность: либо прекращение войн путем международного договора, либо вечный мир «на гигантском кладбище человечества» после истребительной войны.

И. Кант был убежден, что человечество всегда движется к миру через бедствия войн. «Войне, – писал И. Кант, – приписывают даже некоторого рода достоинства и есть даже философы, которые восхваляют ее, как благородную прерогативу человечества, забывая слова одного грека: война есть зло потому, что она более делает злых, чем уничтожает их» [20]. Чтобы этого не происходило, крайне важным и ответственным является установление всеобщего мира на земле. Для этого государства должны обсуждать между собой свои проблемы и решать их дипломатическим путем.

Им следует подписать международное соглашение, на основании которого ни одно государство не будет иметь права насильственно вмешиваться в политическое устройство и правление другого государства, и ни один мирный договор не сможет содержать скрытую возможность новой войны. Реализацию этих идей И. Кант возлагает на политиков, которым мыслитель дает совет: следует объединить политику с моралью – можно либо приспособить мораль к интересам политики («политический моралист»), либо подчинить политику морали («моральный политик»). Идеалом для И. Канта является «моральный политик», «который устанавливает принципы государственной мудрости, совмещающиеся с моралью, но не политический моралист, который выковывает мораль, устремленную к выгоде государственного деятеля».

В своих рассуждениях И. Кант выступает как осторожный оптимист, считая, что общество через нравственное совершенствование людей неизбежно будет двигаться к своему идеальному состоянию – миру без войн и потрясений. Он убежден, что со временем армии должны будут исчезнуть.

Начиная с И. Фихте (1762–1814), немецкие мыслители отказываются от просветительского идеала «вечного мира» и приходят к выводу о правомерности войн. Ф. Шеллинг (1775–1854) полагал, что, будучи важной целью человеческого сообщества, достижение вечного мира, тем не менее, не может быть доказано ни теоретически, ни эмпирически, и потому это лишь продукт веры.

Полностью альтернативной кантовскому проекту «вечного мира» является позиция Г. В. Ф. Гегеля (1770–1831), отстаивавшего правомерность и нравственное значение войн. В отличие от Канта Гегель убежден, что войны неизбежны. В духе столь почитаемого им Гераклита, писавшего о войне как об «отце и царе всех вещей», Г. Гегель распространяет положение о единстве и борьбе противоположностей на весь мир, понимая его (это положение) как движущую силу развития истории. Именно войны и становятся проявлением борьбы противоположностей, инструментом прогрессивного развития, с помощью которого государство утверждает свой подлинный суверенитет.

Войны, считает мыслитель, позволяют решить споры между государствами, а удачные войны «не дают развиться внутренним смутам и укрепляют государственную власть» [21]. Гарантией независимости государства, по Г. Гегелю, являются его вооруженные силы, развитое состояние которых представляет собой постоянную армию. Вместе с тем даже в войне как состоянии бесправия и насилия продолжают действовать такие принципы, как взаимное признание государств, преходящий характер войны и возможность мира.

По мнению Г. Гегеля, в ходе войны к людям приходит понимание, что они служат государству, а не государство им. Наконец, он убежден, что если бы не было войн, человечество превратилось бы в болото. Уже в 1802 году в работе «О научных способах исследования естественного права» Г. Гегель напишет, что для восстановления нравственного здоровья нет более сильного целебного средства, чем война. Она до корня потрясает положение вещей, не исключая и самой жизни, и обнаруживает мелочи жизни в их истинном свете. Именно в этой работе впервые прозвучит та фраза, которая станет для него сакраментальной и которую он на разный манер будет воспроизводить во всех своих последующих сочинениях: «Война поддерживает нравственное здоровье народов в индифференции против частных определенностей и против привыкания и окостенения, как ветер предохраняет озера от загнивания, которое могло бы явиться в них от продолжительного затишья, а среди народов от продолжительного или даже “вечного” мира» [22].

Почему Г. Гегель иначе относится к войне, нежели И. Кант? Чаще всего антипацифизм Г. Гегеля объясняли, ссылаясь на его «сервилизм», т. е. служение интересам милитаристского по духу прусского государства. Однако ограничиться только таким объяснением было бы неправомерно. В отличие от И. Канта Г. Гегель жил в иную историческую эпоху – эпоху «великих войн», которые многие европейские мыслители, включая и Г. Гегеля, рассматривали как освободительные войны. В таких войнах не могла не проявить себя «нравственная си-

ла духа во всей ее энергии»: «война очеловечивает, ибо несет с собой отрицание, прогресс посредством войн» [23], т. е. разрушает старый миропорядок.

В отличие от И. Канта, смотревшего в будущее, Г. Гегель далек от того, чтобы «конструировать государство таким, каким оно должно быть, чтобы поучать его, каким ему следует быть, его цель – лишь «постичь то, что есть», «наличное и действительное», о чем он так и написал в знаменитом предисловии к «Философии права» [24].

Под несомненным влиянием классического немецкого идеализма создавалось учение прусского генерала К. фон Клаузевица (1780–1831) о войне. Воспитанный на И. Канте, Ш. Монтескье и Н. Макиавелли, Карл Клаузевиц 12 лет работал над своим основным трудом «О войне», в годы (1818–1830), когда над умами Германии безраздельно властвовал Г. Гегель. Непосредственные философские истоки учения К. Клаузевица приводят к Г. Гегелю: от Г. Гегеля – идеализм К. Клаузевица, от Г. Гегеля – его диалектический метод.

Заслуга К. Клаузевица состоит в том, что он попытался вскрыть диалектику войны и выявить основные принципы и объективную закономерность ее процессов. Во всех его исследованиях прослеживается основная мысль, что война движется и развивается в противоречиях. Он с иронией относился к пацифистским мечтаниям о «вечном мире» и открещивался от заблуждений некоторых филантропов, «имеющих своим источником добродушие» [25].

Много работая над историей, занимаясь критическим разбором войн XVIII столетия, он приходит к выводу, что не существует «вечных принципов» военного искусства. «Неизменные правила» следует расценивать как непосредственный источник жестоких поражений, как показатель убожества и косности военной мысли. «Всякая эпоха, – утверждает теоретик, – имела свои собственные войны, свои собственные ограничивающие условия и свои затруднения. Каждая война имела бы, следовательно, также свою собственную теорию, если бы даже повсюду и всегда люди были бы расположены обрабатывать теории войны на основе философских принципов» [26].

Немецкий историк Г. Ротфельс назвал К. Клаузевица «классическим теоретиком войны» [27]. Столь высокая оценка дана не случайно. Несмотря на то, что трехтомное исследование «О войне» осталось незаконченным и характеризовалось самим автором как «бесформенная груда мыслей», оно считается вершиной военной теории. В нем изложены взгляды на природу, цели и сущность войны, а также формы и способы ее ведения. Автором даются определения таким понятиям, как бой и победа, рассчитывается соотношение между обороной и нападением, впервые определяется значение морального фактора на войне. Пытаясь понять природу войны, К. Клаузевиц приходит к выводу, что она по своей сути является непредсказуемым явлением. Природа войны изменчива и методы ее проведения, результаты боевых действий непосредственно воздействуют на характер военной кампании, причем происходящие изменения имеют непредсказуемый характер. Война, убежден К. Клаузевиц, это «истинный хамелеон», который демонстрирует различную природу в каждом конкретном случае [28].

По своему общему облику (в отношении господствующих в ней тенденций) война представляет удивительную троицу (триединство), составленную из насилия как первоначального своего элемента, ненависти и вражды, которые следует рассматривать как слепой природный инстинкт; из игры вероятностей и случая, обращающих ее в арену свободной духовной деятельности; из подчиненности ее в качестве орудия политике, благодаря чему она подчиняется чистому рассудку [29]. Основная мысль К. Клаузевица, которую наиболее часто выделяют и регулярно цитируют, состоит в том, что «война есть продолжение политики другими средствами» [30]. Смыслом войны являются не выигранные сражения, а реализация политических целей государства. Справедливость этого постулата не вызывает сомнений, он прошел проверку временем. Прежде всего война есть явление политическое, и в силу такого подчиненного положения она объективно эволюционирует вместе с политикой. Важнейшая заслуга К. Клаузевица заключается в обосновании вывода, что война подвержена изменениям, и

они происходят в соответствии с изменениями политики. Этот вывод, вследствие непрерывности процесса развития и изменчивости политики, актуален и по сей день.

Труд К. Клаузевица «О войне», вдохновлявший государственных деятелей от Бисмарка до Ленина, ставший настольной книгой полководцев, считается одной из великих книг западного мира, посвященных фундаментальным вопросам ведения войны. Работа является базовой для всех последующих трудов военных теоретиков XIX–XX веков.

Отдавая должное К. Клаузевицу, К. Маркс (1818–1883) рассматривает войну как продолжение внутриклассового противоречия и борьбы. Он усматривает причину войны в виде материальной основы, которая первоначально становится основой межклассовой борьбы и переносится впоследствии на межгосударственную арену. Он отмечает, что «общество, основанное на противоположности классов, приходит, как к последней развязке, к грубому противоречию, к физическому столкновению людей» [31]. Примерно той же точки зрения придерживается и Ф. Энгельс (1820–1895), подчеркивавший, что «насилие есть только средство, целью же является, напротив, экономическая выгода» [32]. Таким образом, с их точки зрения, основа войны кроется в противоречиях и межклассовой борьбе, которая есть рациональное и вполне объяснимое явление. Поэтому война будет существовать столь долго, сколь долго общество будет стратифицировано и классово антагонистично.

Попытку создать теорию войны, учитывающую рациональные и иррациональные аспекты, предпринял французский политик, экономист, социолог, философ, член французского парламента и первый человек, назвавший себя анархистом Пьер Жозеф Прудон (1809–1865). Для него война – это клубок непониманий и никто точно не может ни объяснить ее причины, ни предугадать ее следствия, так как она – следствие войны между государствами, войны в сердце человека, войны между кланами и народами. Война и человечество связаны между собой, по сути, «война есть неотъемлемое свойство человечества и будет существовать, пока существует человечество» [33]. Но самым главным причинным свойством войны он считал собственность.

Его знаменитый афоризм «собственность – есть кража» буквально притягивает к себе вражду и готовность к войне. Поэтому для искоренения войны нужно равенство, которое даст и свободу, и братство. Равенство, братство, свобода станут не только основанием для аннулирования государства со всеми функциями его законодательной и исполнительной власти, но и упорядочат быт людей, что само по себе приведет к устранению причин войн. То есть анархия (или по Ж. Прудону – свобода) ликвидирует имущественное неравенство, современное же государство, считает Ж. Прудон, лишь поддерживает и укрепляет имущество «воров или наследников воров».

Оценивая войну, Ж. Прудон не дает однозначной оценки. Он убежден, что война бывает нужна человечеству, но в преобразованном виде («прогресс в науках и нравах изменяет … предмет и форму войны» [34]), так как именно она может создать гармонию мира [35].

Осмыслить феномен войны, определить ее природу и сущность пытались и великие ученые XX века. В 1933 году Альберт Эйнштейн (1879–1955) направил формальный запрос Зигмунду Фрейду (1856–1939) относительно психологических принципов, составляющих феномен войны. Эта переписка была инициирована предложением, исходящим от Лиги Наций (предтечи ООН), в условиях физически ощущавшегося нарастания панъевропейского психоза, приведшего нацистов к власти в Германии и в конечном итоге – ко Второй мировой войне. А. Эйнштейн спрашивал: «Каким образом правящее меньшинство заставляет массы стремиться к цели, реализация которой не приносит им ничего, кроме страданий и потерь? Почему они позволяют доводить себя до уровня умопомешательства и становиться добровольной жертвой? Удовлетворяют ли ненависть и разрушение подсознательным человеческим побуждениям, которые в обычном состоянии латентны, но легко могут быть доведены до такого уровня, когда способны породить массовый психоз? И, наконец, возможно ли повлиять на развитие человеческой психики таким образом, чтобы повысить ее сопротивляемость подобным ненавистническим и деструктивным психозам?» [36].

Отвечая А. Эйнштейну с позиций анализа глубинных качеств человека, Зигмунд Фрейд писал: «Готовность вступить в драку может быть обусловлена многими мотивами, провозглашенными или невысказанными. Одним из них является удовольствие от агрессии и разрушения. Удовлетворение, порождаемое деструктивными тенденциями, естественным образом поддается влиянию других факторов, природа которых имеет эротическую и идеологическую окраску. Временами создается впечатление, что идеологические мотивы есть не что иное, как защита от жестоких природных явлений, но иногда они просматриваются более отчетливо и на помощь им приходят подсознательные деструктивные побуждения подобно проявлениям жестокости во времена Святой Инквизиции.

Инстинкт смерти непременно уничтожил бы личность, если бы не разворачивался в сторону внешних объектов, следовательно, человек, уничтожая объекты внешнего мира, спасает собственную жизнь. Назовем это биологическим извинением за те отвратительные и опасные побуждения, с которыми мы пытаемся бороться. Они более естественны, чем сопротивление, которое мы им оказываем. Учитывая наши насущие интересы, попытку устранения агрессивных тенденций в человеке следует считать бесполезной» [37].

Провидческий пессимизм З. Фрейда не утратил силу и в наши дни. Война продолжает играть в жизни Человечества важную роль и, пройдя через различные формы, прочно войдя в мировоззрение, является фактором определяющим будущее человечества. Существуя как возможность преодоления или поддержания неравенства между общностями, война вытесняет понятие мира, замещает его, предопределяет парадоксальность существования человека.

Таким образом, мы видим, что ни одна историческая эпоха не осталась в стороне от осмысления феномена войны. В учениях Древнего Востока и Античности осуществляется постановка проблемы войны, закладываются основы будущих концепций и теорий, осмысливающих истоки, причины, сущность войн, формулируются первые военно-философские категории. Эпоха Средневековья порождает концепции «метафизической войны» (Ав. Августин, Ф. Аквинский) и теории «справедливой войны» (от Ав. Августина до Г. Гроция). Начиная с конца XVI века мы сталкиваемся с философской критикой войны с позиций гуманизма и интересов гражданского общества, с позиций разума и идеалов эпохи Возрожденья и Просвещения (от Эразма до Канта), с формированием пацифистской философии, абсолютизирующей «принцип ненасилия».

Анализ эволюции взглядов и подходов к проблеме войны, определению ее сущности и природы свидетельствует о многоплановости и неоднозначности восприятия этого одного из наиболее распространенных явлений мировой политической практики. Нанося неисчислимый вред миру природы и второй природе – созданным руками человека городам и поселениям, войны приносят разрушения и во внутренний мир человека, укрепляя в нем страх и лишая его надежды. И тем не менее, несмотря на очевидное варварство этого проявления всех негативных сторон человеческой деятельности, войны продолжаются.

Список используемых источников

1. *Черчилль У.* Мировой кризис. – М.-Л., 1932. – С. 310.
2. *Сунь-цзы.* Трактат о военном искусстве. – М.: Воениздат, 1955. – С. 40.
3. Там же. – С. 40.
4. *Соболевский С.И.* Фукидид // История греческой литературы. – М., 1955. – Т. II. – С. 69−100.
5. Греческие полиоркетики. Вегеций. – СПб: Алетейя, 1996. – С. 153−306.
6. См.: *Августин Блаженный*. О граде Божием: в 4 т. – М., 1994; *Тейяр де Шарден*. Время выбора. Возможный смысл войны // Начало. – 1994. – № 1. – С. 85–90; *Булгаков С.Н.* Раз-

мышления о войне // Знамя. − 1993. − № 5. − С. 147–161; *Трубецкой Е.Н.* Смысл жизни. Антология. – М., 1994.

7. *Макиавелли Н.* Государь. – М.: Планета, 1990. − С. 14.
8. *Макиавелли Н.* Государь. – М.: Планета, 1990. − С. 24.
9. *Мунтян М.А.* Иммануил Кант и теория всеобщего мира. – URL: http://viperson.ru /wind.php?ID=205906 (дата обращения: 18.04.2015).
10. *Мунтян М.А.* Иммануил Кант и теория всеобщего мира. – URL: http://viperson.ru /wind.php?ID=205906 (дата обращения: 18.04.2015).
11. *Мунтян М.А.* Иммануил Кант и теория всеобщего мира. – URL: http://viperson.ru /wind.php?ID=205906 (дата обращения: 18.04.2015).
12. *Гроций Г.* О праве войны и мира. − М., 1957. − С. 50.
13. Там же. − С. 52.
14. *Монтескье Ш.-Л.* О духе законов // Избр. произв. − М., 1955. − С. 166.
15. Там же. − С. 160.
16. Там же. − С. 160.
17. Там же. − С. 160.
18. Там же. − С. 275.
19. *Руссо Ж.-Ж.* Об общественном договоре // Трактаты. − М., 1969. − С. 156.
20. Цит. по: *Снесарев А.Е.* Философия войны. – Изд-во: «Ломоносовъ», 2013. – С. 130.
21. Антология мировой философии: в 4 т.– М.: Мысль, 1971. – Т. 3. – С. 347.
22. *Фишер К.* Гегель, его жизнь, сочинения и учение. Первый полутом // История новой философии. − М.; Л., 1933. − Т. VIII. − С. 213–214.
23. *Румянцева Т.Г.* Г. Гегель о правомерности и нравственном значении войн *versus* кантовской идеи «вечного мира» // Социология. – 2013. – № 2. – С. 73.
24. См.: *Гегель Г.* Философия права. – М., 1990. – С. 13.
25. *Новиков Г.* Теории международных отношений. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1996. – С. 75.
26. *Клаузевиц К.* О войне. – Эксмо, Мидгард, 2007. – С. 546.
27. *Свечин А.А.* Стратегия. – М.: Военный вестник, 1927. – С. 265.
28. *Клаузевиц К.* О войне. – Эксмо, Мидгард, 2007. – С. 89.
29. Там же. – С. 89.
30. Там же. – С. 87.
31. *Маркс К., Энгельс Ф.* Собрание сочинений. – 2-е изд. – М.: Государственное издательство политической литературы, 1955. – Т. 4. – С. 184.
32. Там же. – Т. 20. – С. 164.
33. Прудон П. Ж. Война и мир. Исследование о принципе и содержании международного права: в 2 т. – М., 1864. – Т. 1. – С. 59.
34. Там же. – С. 61.
35. Там же. – С. 237.
36. *Фрейд З., Эйнштейн А.* Истоки войн (переписка). – URL: http://vapp.ru/node/179 (дата обращения: 20.04.2015).
37. *Фрейд З., Эйнштейн А.* Истоки войн (переписка). – URL: http://vapp.ru/node/179 (дата обращения: 20.04.2015).

А.В. Лосик,
доктор исторических наук, профессор;
А.Н. Щерба,
доктор исторических наук, профессор

ОБ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИСТОРИЧЕСКИМ НАУЧНЫМ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ УЧЕНЫХ И СОТРУДНИКОВ ВОЕННО-КОСМИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ ИМЕНИ А.Ф. МОЖАЙСКОГО С 1990-Х ГОДОВ ПО НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ: ИСТОРИОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

В статье анализируются исследования по историческим научным специальностям, ведущиеся учеными и сотрудниками Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (далее – академия) с 1990-х годов по настоящее время. Материал статьи убедительно доказывает тот факт, что в ходе отмеченных исследований на базе академии начала формироваться и активно развивается научная школа, исследующая проблемы истории отечественного регионального (Ленинградского) военно-промышленного комплекса (ВПК) в XX веке, развития вооружения и военной техники, истории военно-космической деятельности, к работе этой школы подключаются преподаватели и сотрудники других вузов и организаций Санкт-Петербурга.

Ключевые слова: научные исследования, научные дисциплины, вооружение и военная техника, военно-промышленный комплекс, история науки и техники, соискатель, диссертант.

В статье рассматриваются исследования (диссертации, монографические издания, публикации в научных журналах) по следующим историческим научным дисциплинам:

1) 07.00.02 – «Отечественная история» (по отрасли исторические науки);

2) 20.02.22 – «Военная история» (по отрасли военные науки);

3) 07.00.10 – «История науки и техники» (по отраслям – исторические и технические науки).

В условиях постсоветской России в 1990-е годы в академии историками общеакадемической кафедры истории и философии в инициативном порядке под руководством профессора кафедры доктора исторических наук А.В. Лосика стали проводиться исследования по проблематике развития регионального отечественного военно-промышленного комплекса Санкт-Петербурга (Ленинграда). Первыми публикациями по названной проблематике стали труды самого А.В. Лосика и адъюнкта кафедры А.Н. Щербы [1], который после переезда с космодрома Байконур и поступления на учебу в академию начал готовить кандидатскую диссертацию по специальности 07.00.02 – «Отечественная история», связанную с вопросами развития ленинградского военно-промышленного комплекса в 1930-е годы.

Здесь уместно будет вспомнить доктора исторических наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ Бориса Анатольевича Старкова, который первым в нашем городе обратился к разработке перспективной проблематики развития отечественного военно-промышленного комплекса. Под его научным руководством в ходе исследовательского проекта «Санкт-Петербургский ВПК: генеалогия и социально-политический статус, 20–60 гг. XX века», реализуемого кафедрой истории России зарубежных стран Санкт-Петербургского университета экономики и финансов в середине 1990-х годов, над кандидатскими диссертациями работали и затем успешно защитились соискатели И.П. Уколова, Н.С. Ниязов, А.Н. Гончар.

Если вышеуказанные соискатели профессора А.Б. Старкова защитились в 1997–1999 годах, то А.Н. Щерба был первым санкт-петербургским ученым, защитившим уже в 1996 году по проблемам ВПК кандидатскую диссертацию.

1. [1] Щерба А.Н. Формирование и развитие регионального военно-промышленного комплекса Ленинграда в 1930-е годы. – СПб., 1996.

Присутствовавший на защите в диссертационном совете Северо-Западной академии государственной службы профессор Б.А. Старков отметил в своем выступлении по итогам защиты, что данной диссертацией было, по существу, открыто новое перспективное направление в отечественной исторической науке, ранее, в силу известных ограничений секретности, совершенно не изучавшееся в России (СССР).

Попутно заметим, что сама идея заняться изучением проблем ВПК была подсказана профессором Б.А. Старковым А.В. Лосику и А.Н. Щербе при личной встрече в начале 1990-х годов. Вершиной разработки проблем ВПК профессором Б.А. Старковым стала, по нашему мнению, его совместная работа (как автора и руководителя группы отечественных ученых) с учеными Кембриджа по подготовке издания совместного труда российских и английских ученых «Советский военно-промышленный комплекс от Сталина до Хрущева», увидевшего свет в 2000 году в Англии на английском языке. В этой монографии также приняли участие А.В. Лосик и А.Н. Щерба, подготовившие отдельный параграф, посвященный развитию регионального ленинградского ВПК перед Великой Отечественной войной.

Работы петербургских ученых по проблемам ВПК были замечены научной общественностью страны, о чем свидетельствует фундаментальная работа одного из ведущих сотрудников Института российской истории РАН, доктора исторических наук И.В. Быстровой «Советский военно-промышленный комплекс: проблемы становления и развития (1930–1980-е годы) (М.: Институт российской истории РАН, 2006. – 704 с.) В историографическом разделе данного труда отмечается, что по рассматриваемой автором проблематике все большую активность в постсоветской России развивали региональные центры исторической науки. И.В. Быстрова, говоря о ленинградских ученых, указывает, что в 1990-е годы «комплексные исследования по изучению регионального военно-промышленного комплекса (ВПК) проводились в Военном инженерно-космическом университете имени А.Ф. Можайского (Указ. соч., с. 25). В числе наиболее значительных разработок в данном направлении указываются «работы А.Н. Щербы по истории военной промышленности Ленинграда в 1920-1930-е годы» (Указ. соч., с. 25).

Логическим итогом работ А.Н. Щербы в 1990-е годы стала защита им докторской диссертации по проблемам истории Ленинградского ВПК.

2. Щерба А.Н. Роль военной промышленности Ленинграда в укреплении обороноспособности СССР в 20–30-е годы. – СПб., 1999.

В первое десятилетие XXI века под научным руководством профессора Лосика А.В. и молодого доктора исторических наук А.Н. Щербы по различным аспектам истории регионального (Санкт-Петербургского-Ленинградского) ВПК были подготовлены и защищены преподавателями и сотрудниками академии несколько кандидатских диссертаций по специальности 07.00.02 – «Отечественная история».

3. Федулов С.В. Деятельность руководства страны по подготовке инженерно-технических кадров для судостроения с 1928 по июнь 1941 гг. (на материалах г. Ленинграда). – СПб., 2000.

4. Васильев А.А. Становление и развитие бронетанковой промышленности в Ленинграде в 20–30-е годы XX века. – СПб., 2003.

5. Захарияш О.А. Деятельность органов государственной власти по развитию военной промышленности Петербурга и губернии (1906–1914 гг.). – СПб., 2005.

[1] Здесь и далее арабскими цифрами жирным шрифтом через всю статью обозначены успешно защищенные «можайцами» диссертационные исследования.

6. Алексеев Т.В. Разработка и производство промышленностью Петрограда-Ленинграда средств связи для РККА в 20–30-е годы XX века. – СПб., 2007.

7. Жабровец И.В. Подготовка инженерно-технических и рабочих кадров для военного судостроения в конце 1920-х – начале 1940-х годов (на материалах Ленинграда). – СПб., 2011.

Тематически близко к отмеченной выше проблематике примыкают и кандидатские диссертационные исторические исследования также преподавателей и сотрудников академии.

8. Никулин Ю.А. А.Ф. Можайский – русский морской офицер и авиаконструктор: жизнь и деятельность (1825–1890 гг.). – СПб., 2006.

9. Чимаров С.Ю. Роль региона Российской Федерации в реализации научно-технической политики: исторический аспект (на материалах Ленинграда. 70-е – середина 80-х гг.). – СПб., 1996.

По нашему мнению, столь успешная научная работа в 1990-е годы – первое десятилетие XXI века академических ученых в области истории стала не только результатом поощрения данных исследований со стороны начальника кафедры кандидата исторических наук полковника Макарова В.С., и сменившего его в 2003 году кандидата исторических наук полковника Конорева В.В., но и явилась – и это, пожалуй, главное – продолжением традиций в области историко-философских наук, накопленных на кафедре истории и философии во второй половине XX века. И здесь в первую очередь надо упомянуть фамилии двух преподавателей названной выше кафедры: доктора исторических наук, ветерана Великой Отечественной войны Ф.М. Аржанова и доктора философских наук А.О. Баранова. Первый из названных ученых в 1962 году защитил историческую докторскую диссертацию на тему «Борьба Коммунистической партии за обеспечение безопасности восточных границ СССР (1932 – август 1945 гг.)», а второй в 1974 году защитил докторскую философскую диссертацию по проблемам военно-технической революции XX века и взаимодействию системы «человек–военная техника».

У самого же О.А. Баранова наиболее значительными его работами по отмеченной проблематике стали: «Военная техника и морально-боевые качества воина» (1961); «Вопросы диалектики в развитии военной техники» (1964); «Моральный фактор в сфере революции в военной технике» (1967); «Человек и техника в военной организации» (1971); «Современная научно-техническая революция и социальные проблемы» (1973); «Сущность и содержание современной военно-технической революции» (1977). Последняя работа была издана Министерством обороны СССР.

Различные проблемы намеченного О.А. Барановым перспективного научного направления стали активно исследовать преподаватели академии. Так, проблемам формирования духовной сферы личности военнослужащих в условиях послевоенного этапа военно-технической революции посвятили свои диссертационные исследования, успешно затем защищенные в 80-е – начале 90-х годов XX века сотрудники академии А.А. Коровко, В.И. Ушаков, С.Г. Бессмертный, С.М. Емельянов, Н.А. Репях. Научные изыскания преподавателей А.В. Фомичева, Н.С. Кужекина, Ф.Ф. Герасимова были нацелены на философско-социологические и политологические проблемы космической деятельности и ее прогнозирования.

Подчеркнем особо, что с первого десятилетия XXI века в академии стали проводиться исторические исследования по специальности 07.00.10 по техническим наукам, и здесь в первую очередь следует назвать фамилию «можайца» В.И. Евсеева – кандидата технических наук, старшего научного сотрудника Военного института (научно-исследовательского) академии. Тема его докторской диссертации посвящена, по сути, одному из важнейших направлений деятельности военных ученых академии и называется «Развитие и формирование научного направления: фоноцелевое информационное обеспечение отечественных космических средств в интересах армии и флота (1940–2000-е гг.)». Диссертация на сегодняшний день поступила в объединенный диссертационный совет Педагогического университета имени А.И. Герцена и Морского технического университета.

Также в начале XXI века круг ученых, занявшихся изучением отечественного ВПК, не ограничился только учеными академии, а стал существенно расширяться за счет преподавателей и сотрудников других вузов и организаций Санкт-Петербурга. В первое десятилетие нового века под научным руководством или при научном консультировании профессоров А.В. Лосика и А.Н. Щербы были подготовлены и успешно защищены несколько диссертаций по проблематике отечественного оборонно-промышленного комплекса сотрудниками сторонних вузов и организаций Санкт-Петербурга. Среди этих работ отметим следующие:

– Судариков А.М. – кандидат химических наук, заведующий кафедрой Ленинградского государственного университета имени А.С. Пушкина. Тема докторской диссертации, защищенной в 2007 году, «Роль ученых-ленинградцев в создании эффективных средств обороны страны в первое послевоенное десятилетие (1945–1955 гг.)

– Минаев П.П. – кандидат исторических наук, заместитель директора одного из оборонных предприятий Санкт-Петербурга. Тема его докторской диссертации, защищенной в 2006 году: «Реализация промышленностью Петрограда-Ленинграда государственной военно-технической политики в области развития важнейших видов вооружения, военной техники и боеприпасов для сухопутных войск Красной Армии (20–30-е годы XX века)».

– Лукин В.Е. – научный сотрудник Военно-морского музея. Тема его кандидатской диссертации: «Роль артиллерийских научно-исследовательских и испытательных учреждений армии и флота в обороне Ленинграда (1941–1944 гг.)» (Спб., 2009).

Заметим, что в исследуемый период были также подготовлены и защищены первые кандидатские диссертации (это прежде всего касается работ начала 1990-х годов – и в этом их ценность и значимость), связанные с проблематикой организации воспитательной работы в частях космического назначения СССР.

10. Гусев Ю.И. Партийно-политическая работа с личным составом дежурных смен по повышению надежности управления КА (1982–1989). – М., 1990.

11. Латанов В.М. Партийное руководство укреплением воинской дисциплины в космических частях (1982–1988 гг.). – М., 1990.

12. Кузьмин С.А. Деятельность командиров, политорганов, партийных организаций по повышению ответственности офицерского состава за успешные выполнения задач подготовки, защиты и управления космическими аппаратами (1932–1990). – М., 1990.

13. Мережко С.Н. Воспитательная и организаторская работа по повышению живучести наземной группировки космических средств (1982–1991). – М., 1991.

14. Ершов Н.В. Деятельность партийно-государственных органов по созданию и совершенствованию системы воспитательной работы в воинских соединениях, частях и учреждениях космического назначения (1955–1991). – СПб., 2006.

15. Бочинин Д.А. Подготовка специалистов по управлению космическими аппаратами в Вооруженных Силах СССР накануне и в годы перестройки (1982–1991). – СПб., 2008.

Назовем и диссертационные работы, выполненные и защищенные в исследуемый в статье период учеными академии по специальности 20.02.22 – «военная история» по отрасли военные науки.

16. Конорев Д.В. История развития средств видовой космической разведки (60–80-е годы XX века). – СПб., 2010.

17. Молдованов А.В. Применение специальных частей ВМФ и органов МВД в годы Великой Отечественной войны и в локальных конфликтах. – СПб., 2011.

18. Каторин Ю.Ф. Авианесущие корабли и опыт их боевого применения в войнах XX века. – СПб., 2010. (До 1 сентября 2011 года Ю.Ф. Каторин – профессор 34-й кафедры академии.)

К указанному выше списку диссертационных исследований добавим и исторические работы «можайцев», посвященные военной проблематике истории России.

19. Казаков А.В. Подготовка офицеров запаса в гражданских высших учебных заведениях Ленинграда в 1960–1980-е годы. – СПб., 2000.

20. Окунев С.Ю. Государственные ополчения в России в XIX – начале XX веков. – СПб., 2005.

21. Завгородний А.Ф. Деятельность государственных органов и общественно-политических организаций по социальной защите военнослужащих Красной Армии и их семей в межвоенный период (1921 – июнь 1941 гг.). – СПб., 2001.

22. Конорев В.В. Государственная политика в области культурно-бытового обеспечения командных кадров Красной Армии (20-е годы XX в. На материалах г. Ленинграда). – СПб., 1997.

23. Чимаров С.Ю. Русская православная церковь и религиозно-нравственное воспитание личного состава армии и флота (1800–1917 гг.). – СПб., 1999.

24. Курбатов О.В. Русская православная церковь на Дальнем Востоке в конце XIX – начале XX вв. – СПб., 2003.

Отметим, что появление темы религиозно-нравственного воспитания военнослужащих в научных исследованиях у «можайцев» было совсем неслучайным. Дело в том, что в середине 1990-х годов в Вооруженных Силах страны шел поиск новых подходов к организации воспитательной работы с военнослужащими в условиях постсоветской России, когда прежняя система партполитработы в армии и на флоте была упразднена. И по просьбе руководства Отдела воспитательной работы Военно-космических сил Российской Федерации С.Ю. Чимаров (тогда заместитель начальника по воспитательной работе академии), заканчивающий к тому времени подготовку кандидатской исторической диссертации, приступил к сбору материалов для изучения опыта воспитательной деятельности (религиозно-нравственной) военных священников в условиях имперской России, результатом чего и явилась докторская диссертационная работа, названная выше. Эта диссертация была одной из первых в современной России по данной проблематике, результаты которой, как показали последующие события и в стране, и в армии, были теоретически и практически использованы в строительстве отечественных Вооруженных сил Российской Федерации.

За исследуемый период авторам статьи также удалось выявить более 40 наименований исторических трудов монографического характера, подготовленных и опубликованных «можайцами» по различным вопросам отечественной и военной истории. Но объемы журнальной статьи не позволяют всех их назвать и поэтому укажем среди них лишь те, которые связаны с историческими проблемами ВПК, вопросами развития вооружения, военной техники и науки, по космической проблематике, вопросам истории академии как одного из старейших военных научно-учебных заведений России.

– Ежов А.П. Академия в годы войны. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1976. – 126 с.

– Военный инженерный краснознаменный институт им. А.Ф. Можайского (очерк истории 1941–1981 гг.) / сост. А.П. Ежов; под общ. ред. А.И. Холопова. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1981. – 302 с.

– Исторический очерк военного инженерного краснознаменного института имени А.Ф.Можайского. 1941–1991 гг. / сост. А.П. Ежов; председатель ред. коллегии Е.С. Голосов. – Л.: ВИКИ им. А.Ф.Можайского, 1990. – 394 с.

– Лосик А.В., Чимаров С.Ю. Наука и политика: тернистый путь научно-технического прогресса (Опыт и уроки отечественной истории. Вторая половина 40-х – 90-е гг. XX в.). – СПб.: ВИКА имени А.Ф. Можайского, 1997. – 177 с.

– Свирин С.А., Симановский Р.В., Ушаков В.П. История создания и развития Военно-космических сил Российской Федерации / под ред. В.Н. Кузьмина. – СПб.: ВИККА, 1999. – 96 с.

– Лосик А.В., Щерба А.Н. Вооруженная борьба как один из атрибутов человеческой цивилизации. – СПб.: Нестор, 2003. – 153 с.

– Назиров А.Э., Огородников В.П. История и философия науки. – СПб.: НТЦ им. Л.Т. Тучкова, 2005. – 374 с.

– Генерал-полковник Холопов Александр Иванович. Исторический очерк и воспоминание сослуживцев / отв. ред. В.Е. Прохорович. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2005. – 120 с.

– Лосик А.В., Щерба А.Н. Некоторые аспекты государственной военно-технической политики России и развития отечественного оборонно-промышленного комплекса в XX веке: вопросы истории, методологии, историографии и источниковедения. – СПб.: Нестор, 2006. – 283 с.

– Никулин Ю.А. Александр Федорович Можайский. – Вологда, 2006. – 152 с.

– Евсеев В.И. Очерк истории прикладной радио- и оптической локации. – СПб., 2007. – 508 с.

– Очерк истории научно-исследовательского центра 4-го ЦНИИ МО РФ / В.М. Батьков, В.И. Бурец, В.А. Грихилес, В.И. Евсеев и др. – СПб., 2007. – 244 с.

– Каторин Ю.Ф. Броненосцы. – СПб., 2007. – 232 с.

– Каторин Ю.Ф. Крейсера. Кн. 1. – СПб., 2007. – 123 с.

– Каторин Ю.Ф. Уникальная и парадоксальная военная техника. СПб., 2007, 432 с.

– Отечественный военно-промышленный комплекс в XX – начале XXI века (историография проблемы) / А.В. Лосик, А.Ф. Мезенцев, П.П. Минаев, А.Н. Щерба / руководитель авторского коллектива и ответственный редактор А.В. Лосик. В 3-х книгах. – Тамбов: «ЮЛИС», 2008. – Книга 1. 1900-первая половина 40-х годов XX века. 167 с.; Книга 2. Вторая половина 40-х – начало 90-х годов XX века. 151 с.; Книга 3. 1990-е годы – начало XXI века. – 175 с.

– Ершов Н.В. Становление и развитие отечественной военно-космической деятельности (вторая половина 1940-х – первая половина 1970-х годов). – СПб., 2010. – 300 с.

– Алексеев Т.В. Индустрия средств связи Петербурга-Ленинграда для армии и флота в эпоху потрясений и модернизации (1900–1945). – СПб.: СПбГПУ, 2010. – 643 с.

– Каторин Ю.Ф. Все об авианосцах. – СПб., 2010. – 524 с.

– Каторин Ю.Ф. Все о кораблях. От гребного флота древних до наших дней. – М., 2010. – 624 с.

– Каторин Ю.Ф. Все о танках. – М., 2010. – 622 с.

– Евсеев В.И., Лосик А.В. Научно-технические, промышленные и военные аспекты развития вооружения и военной техники, отечественного оборонно-промышленного комплекса: история и современность. – СПб.: Полторак, 2011. – 560 с.

– Алексеев Т.В. Промышленность Ленинграда – Красной Армии. Разработка и производство промышленностью Ленинграда средств связи для РККА в 1920–1930-е годы. – Саарбрюккен, 2011. – 234 с.

– Огородников В.П. История и философия науки. – СПб.: «Питер», 2011. – 368 с.

– Генерал-полковник Кизим Леонид Денисович. Биографический очерк и воспоминание сослуживцев. / под общ. ред. канд. ист. наук, профессора В.С. Макарова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. – 48 с.

– Огородников В.П., Назиров А.Э., Ильин В.В. Развитие науки и научно-технический прогресс: истоки, сущность, перспективы. – СПб.: ПГУПС, 2012, 333 с.

– Щерба А.Н. Военная индустрия Санкт-Петербурга-Ленинграда в 1900–1940-е годы. – СПб., 2012. – 443 с.

– Бочинин Д.А. Авиационная промышленность Санкт-Петербурга-Ленинграда – отечественным армии и флоту (1900–1940-е годы). – СПб., 2012. – 180 с.

– Евсеев В.И., Лосик А.В., Щерба А.Н. Из истории вооружения, военной техники и военного производства от Древней Руси до современной России. В 2-х книгах. – СПб. – 2013. – Кн. 1. – 360 с.; кн. 2. – 430 с.

– Исторические и научно-технические аспекты космической деятельности, развития отечественного оборонно-промышленного комплекса как факторы патриотического воспитания молодежи: коллективная монография по результатам межвузовской научно-исследовательской программы / Т.В. Алексеев, Ю.Н. Антонов, В.М. Латанов и др. – Всеволожск, 2013. – 280 с.

– Федулов С.В. Военно-техническое сотрудничество СССР со странами Запада в 20–30-е годы XX века в области морского вооружения и техники. – СПб., 2014. – 240 с.

– Отечественный военно-промышленный комплекс в XX – начале XXI века (историография проблемы): монография в 3-х частях. / А.В. Лосик, А.Ф. Мезенцев, П.П. Минаев, А.Н. Щерба – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Типография «Медиа Стайл», 2014. – 539 с.

Бесспорно, подчеркнем еще раз, приведенные труды «можайцев» не исчерпывают всё многообразие изданного в исследуемые годы по исторической проблематике. В частности, это касается опубликованных историй отдельных факультетов и кафедр академии, трудов по истории воспитательной работы с военнослужащими. Но выявление полного списка подобных работ требует отдельного историко-библиографического анализа, что выходит за пределы нашего исследования.

Весьма позитивно на развитие научных исследований по историческим научным специальностям повлиял и выпуск при поддержке командования академии имени А.Ф. Можайского нескольких тематических сборников научных трудов по гуманитарным наукам. В ракурсе сказанного укажем на публикацию таких сборников, как:

– Реформы в российской армии и оборонное строительство: история и современность (опыт, проблемы, перспективы). – СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 1999. – 171 с.

– Реформы в российской армии: проблемы военного образования и воспитания военнослужащих. История и современность. – СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 2000. – 265 с.

– Отечественная ракетно-космическая техника и военно-космическая деятельность: истоки, развитие, перспективы. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. – 581 с.

К отмеченному выше добавим, что за 2007–2012 годы только шестью наиболее активными учеными (в основном штатными «можайцами» и нынешними, и бывшими в указанное время): Т.В. Алексеевым, А.Н. Щербой, Н.В. Ершовым, Д.А. Бочининым, В.И. Евсеевым, А.В. Лосиком – было опубликовано по историческим научным дисциплинам 335 статей, из них почти треть – 105 в журналах и изданиях, рекомендованных ВАК.

Упомянем и публикации исторического характера ученых академии, специалистов-корифеев в области технических наук, таких как, например, В.Н. Калинин и В.С. Гончаревский.

– История развития кибернетики и информатики в Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского (1941–2006) – История информатики и кибернетики в Санкт-Петербурге (Ленинграде). Выпуск 1. / В.С. Гончаревский, В.Н. Калинин, Б.В. Кромский, А.Н. Полетаев, И.В. Рыбаков / под общ. ред. член-корреспондента РАН Р.М. Юсупова. – СПб.: Наука, 2008. – С. 164–175.

– Богорев В.В., Гончаревский В.С. Научно-педагогические школы факультета Автоматизированные системы управления // Труды ВКА им. А.Ф. Можайского. Выпуск 621. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. – С. 12–22.

– Калинин В.Н. Современная космическая кибернетика – методологические основы и направления исследования. // Труды ВКА им. А.Ф. Можайского. Выпуск 621. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. – С. 23–41.

Подчеркнем, что проблематика, связанная с изучением истории военно-промышленного комплекса является, по сути, и одной из областей исследований специальности 07.00.10 – «История науки и техники» согласно паспорту данной специальности (один из пунктов которой указывает на исследования развития промышленных комплексов в экономике страны). То есть отмеченные выше работы по истории ВПК Ленинграда выполнены, по существу, на стыке двух исторических научных специальностей: 07.00.02 – «Отечественная история» и 07.00.10 – «История науки и техники».

Также заметим, что проблематика развития военно-промышленного комплекса идеально вписывается и в область исследований научной дисциплины «Военная история», пункт 6 паспорта которой говорит об исследованиях «развития вооружения, военной техники, средств вооруженной борьбы».

Здесь же укажем, что в академии уже появился и первый доктор исторических наук, подготовивший, работая преподавателем, и защитивший в 2012 году диссертацию по специальности 07.00.10 – «История науки и техники». Тема диссертации профессора кафедры социально-экономических дисциплин Т.В. Алексеева посвящена как раз проблемам развития отечественного ВПК.

25. Алексеев Т.В. Создание и промышленное производство средств связи для армии и флота в 1900–1945 гг. (на материалах Санкт-Петербурга-Ленинграда).

В настоящее время над диссертациями по проблематике истории ВПК, развития вооружения и военной техники, различным вопросам военной истории России, космической проблематике работают по отраслям исторические и военные науки исторических научных специальностей преподаватели и сотрудники академии:

– Бочинин Д.А., кандидат исторических наук, доцент – тема докторской диссертации: «Северо-Западный центр авиационной промышлености России: становление и развитие (1900–1941 гг.)». Диссертация уже готова, прошла обсуждение и апробацию на кафедре истории Петербургского университета путей сообщения и рекомендована этой организацией к защите;

– Латанов В.М., кандидат исторических наук, доцент – тема докторской диссертации: «Укрепление военной и технологической дисциплины в космических частях Вооруженных сил СССР накануне и в годы перестройки (70–80-е гг. XX в.)»;

– Федулов С.В., кандидат исторических наук, доцент – тема докторской диссертации: «Развитие военно-технического сотрудничества СССР с индустриально развитыми странами Запада в 1920–1930-е годы»;

– Шалонов Е.В., кандидат военных наук – тема докторской диссертации: «Становление и развитие регулярного высшего военно-специального и инженерно-технического образования в интересах Военно-космических сил и ракетно-космической индустрии (на материалах Санкт-Петербурга, 1960-е – начало 1990-х гг.)»;

– Попова В.В., старший лаборант кафедры истории и философии – тема кандидатской диссертации: «Развитие российской ракетной техники в XIX веке (на материалах Санкт-Петербурга)»;

– Виноградов А.А., кандидат исторических наук, доцент – тема докторской диссертации: «Социально-экономические и бытовые условия жизни и труда рабочих военной промышленности в 1900–1930-х годах (на материалах Санкт-Петербурга-Ленинграда)»;

– Васильева А.А., преподаватель кафедры социально-экономических дисциплин – тема кандидатской диссертации: «Развитие регионального промышленного комплекса, работающего в интересах военного судостроения России (1870–1917 гг., на материалах Санкт-Петербурга-Петрограда)»;

– Станкевич Н.А., сотрудник ОВТИ академии – тема кандидатской диссертации: «Военно-техническое сотрудничество России с зарубежными странами (последняя четверть XIX в. – 1917 г., на материалах Санкт-Петербурга-Петрограда)»;

– Соколов В.В., курсовой офицер – тема кандидатской диссертации: «Создание, развитие, закат и перспективы возрождения отечественного космического флота (вторая половина XX века)»;

– Салун О.А., начальник курса – тема кандидатской диссертации: «Особенности подготовки военнослужащих женского пола в Вооруженных силах России и США».

Из работ сторонних соискателей, которые трудятся под руководством профессоров-историков академии, отметим две работы по отраслям исторические и технические науки, отвечающие профилю нашей академии или затрагивающие ее историю:

– Ершов Н.В., канд. ист. наук (до апреля 2012 года заместитель начальника кафедры военной педагогики и психологии академии) – тема докторской диссертации: «Становление и развитие отечественной практической космонавтики: военно-исторический аспект (вторая половина 1940-х – первая половина 1970-х годов». Диссертация была готова уже в ноябре

2011 года, прошла обсуждение и апробацию на кафедре истории Петербургского университета путей сообщения, где имеется аспирантура по двум историческим специальностям: 07.0.02 – «Отечественная история» и 07.00.10 – «История науки и техники», и рекомендована названной организацией к защите;

– Охочинский М.Н., доцент, ученый секретарь БГТУ «Военмех» имени Д.Ф. Устинова – тема кандидатской диссертации: «Вопросы космонавтики и ракетной техники в научном творчестве профессора Н.А. Рынина (1910 – начало 1940-х годов)».

В заключение статьи сформулируем **основные выводы** по изложенному материалу.

1. В условиях новой постсоветской России преподавателями и сотрудниками академии активно, преимущественно в инициативном порядке, проводились научные исследования по следующим научным историческим дисциплинам:

а) 07.00.02 – «Отечественная история»;

б) 20.02.22 – «Военная история»;

в) 07.00.10 – «История науки и техники».

2. Основной проблематикой в рамках названных научных исторических дисциплин стали следующие направления исследований:

а) проблемы истории регионального Санкт-Петербургского-Ленинградского военно-промышленного комплекса, развитие вооружения и военной техники;

б) проблемы военной истории Отечества;

в) проблемы зарождения и развития сил и средств военно-космической деятельности;

г) проблемы воспитания и подготовки кадров для Вооруженных сил страны в разных социально-экономических и политических условия развития Российского государства;

д) проблемы истории науки и техники, развития отечественного научно-технического прогресса.

3. По названным историческим специальностям за 1900–2012 годы, т. е. за 23 года только «можайцами», были успешно защищены 25 диссертаций, из них 5 докторских и 20 кандидатских. Подавляющая часть диссертационных работ были выполнены по отрасли «Исторические науки» – 22 (18 – кандидатских, 4 – докторских); по специальности 20.02.22 – «Военная история» по отрасли военные науки – 3 (2 – кандидатские, 1 докторская); одна диссертация (докторская) защищена по специальности 07.00.10 – «История науки и техники» по отрасли исторические науки.

4. В настоящий момент над диссертационными исследованиями по историческим научным специальностям по отраслям исторические и технические науки работают более 10 преподавателей и сотрудников академии имени А.Ф. Можайского. К этому числу добавим 13 человек – соискателей других вузов и организаций города, которые под руководством профессоров-историков академии также трудятся над диссертационными историческими исследованиями.

5. Выполненный в статье историографический анализ работ «можайцев» убедительно говорит о том, что наиболее разработанным направлением научно-исторических исследований в академии стали вопросы истории отечественного военно-промышленного комплекса, развития вооружения, военной техники и науки.

Полагаем, что вполне уместно говорить о том, что в академии имени А.Ф. Можайского в указанный период времени в ходе исследований по историческим научным дисциплинам начала формироваться **научная школа по проблемам истории отечественного регионального военно-промышленного комплекса Санкт-Петербурга-Ленинграда-Санкт-Петербурга в XX – начале XXI вв.**, к работе которой активно подключаются преподаватели и сотрудники других вузов и организаций нашего города. Подтверждением сказанному является прежде всего наличие в академии трех из пяти санкт-петербургских докторов исторических наук, работающих по проблематике названной научной школы.

6. Касаясь кратко основных достижений анализируемого научного направления исследований, отметим следующие моменты, значимые для развития исторической науки:

а) удалось установить, что региональный Ленинградский военно-промышленный комплекс в его советском варианте сформировался, опираясь в своих истоках на мощный научно-производственный потенциал имперского Санкт-Петербурга, созданный еще до начала Великой Отечественной войны, т. е. раньше, чем общесоюзный ВПК, создание которого ведущие историки страны относят к концу 1940-х годов и связывают его появление с реализацией советского «атомного проекта»;

б) документально доказано, что в ленинградской индустрии сложились мощные центры или кластеры по производству ряда важнейших видов вооружения и военной техники, находившихся на острие военно-технического прогресса XX века. Так, являясь до Великой Отечественной войны своеобразным научным центром бронетанковой техники, производственники и ученые города занимали лидирующее положение в стране по выпуску средних танков, а лучшие советские тяжелые танки в указанный период выпускались только в Ленинграде;

в) выявлена и аргументирована роль ленинградской индустрии в выпуске средств связи для армии и флота в первой половине XX века и документально установлено, что в этой области технических средств город играл уникальную роль как в условиях имперской России, так и в 20–30-е годы XX века в советские времена, являясь по многим видам средств связи единственным производителем соответствующей военной и гражданской продукции в стране;

г) всесторонне и глубоко изучена история зарождения, становления и развития Северо-Западного центра авиационной промышленности России-СССР в 1909–1941 гг. и доказано, что индустрия Ленинграда производила к началу 1941 года основную часть в стране легких самолетов, учебных самолетов и гидросамолетов, была готова по своему научно-производственному потенциалу к производству боевых самолетов, однако война не позволила реализовать этот замысел;

д) обстоятельно проанализированы некоторые прорывные направления военно-технического прогресса в XX веке; от минно-торпедного вооружения, радиолокации в первой половине XX века; реактивной авиации, подводного флота, ракетно-космического вооружения, космических информационных систем в годы «холодной войны» и др.

е) впервые в исторической науке изучено зарождение и становление отечественной практической космонавтики, начиная со второй половины 1940-х годов до первой половины 1970-х годов и показана решающая роль военных в реализации космических замыслов С.П. Королева и его соратников;

ж) всесторонне проанализирован и обобщен вклад отечественных ученых в формирование и развитие важнейшего для космонавтики научного направления, связанного с фоноцелевым информационным обеспечением отечественных космических средств в интересах армии и флота. Убедительно показана ведущая роль в этом ученых академии.

По мнению авторов статьи, достаточно подробный анализ деятельности ученых академии в областях военно-исторических и исторических научных дисциплин в последние десятилетия позволяет также сформулировать ряд важных заключений как общего характера, касающихся системы подготовки кадров Вооруженных сил страны, так и высказать некоторые мысли по поводу совершенствования системы повышения квалификации профессорско-преподавательского состава и инженерно-научных сотрудников академии.

I. На современном этапе бурного развития военного дела, военной техники и вооружения военно-исторические исследования приобретают особую роль и ценность. Именно они позволяют объединить многовековой опыт развития военного дела с современными целями, задачами, способами и методами ведения вооруженной борьбы. Только в гармоничном единстве одного и другого видится успех в сражениях и военных конфликтах. Следует признать, особенно в свете последних событий в Европе, на Украине, в Центральной Азии, что пренебрежение историческими знаниями, допущенные на этой основе военно-политические и экономические ошибки рядом военно-политических лидеров указанных регионов, уже

привели к множеству межгосударственных и внутренних вооруженных конфликтов, последствиями которых стали многочисленные жертвы, в том числе гражданского населения.

II. Сегодня поле исторических знаний все чаще становится полем идеологической и политической борьбы. Можно с уверенностью констатировать, что допущенный перекос в отношении преподавания гуманитарных, в первую очередь исторических, дисциплин в системе высшего профессионального образования в пользу специальных и технических знаний (например, в военных учебных заведениях) дает свои отрицательные результаты, которые проявляются в шаблонности мышления и деятельности; в принятии решений без учета опыта предыдущих поколений, без анализа возможных последствий; в ошибочности оценки реальной ситуации и мн. др.

Мы поддерживаем все более настойчиво высказываемое научной общественностью мнение, что в число важнейших направлений на перспективу военно-научного и научно-технологического комплексов страны необходимо включение гуманитарных наук, как одного из приоритетных направлений развития и военно-научного, и научно-технического прогресса государства и общества.

III. Отсюда очевидной становится необходимость пересмотра отношения к историческим знаниям и историческому опыту в целом и к военно-историческим аспектам в частности, к военно-исторической подготовленности государственных служащих и военных профессионалов. Особое место сегодня нужно определить формированию системы преподавания военно-исторических предметов в вузах МО РФ, созданию специальных структур, обеспечивающих развитие военно-исторического знания, его литературного оформления и хранения, а также широкого распространения как в российском обществе, так и Вооруженных силах.

Не хотелось бы проводить исторические параллели, но отметим, что в 1938 году в известных исторических условиях, в которых оказались СССР и его армия, во всех военно-учебных заведениях страны постановлением ЦК ВКП(б) и правительства был введен для обязательного изучения новый предмет – «Военная история» и сформированы кафедры, обеспечивающие его преподавание.

IV. Конечно, все отмеченное выше требует в современных условиях серьезной и основательной проработки в организационно-штатном и финансовом планах на уровне МО РФ, и мы надеемся, что данная корректировка образовательного процесса в области военной истории – в качестве примера на базе академии – обязательно произойдет. Но, думается, что в самой академии уже сегодня необходим срочный переход от инициативного порядка труда ученых и сотрудников над историческими научными исследованиями к плановому, системному режиму работы. И следует рассматривать такую деятельность как серьезный путь повышения научно-квалификационного уровня преподавателей и сотрудников академии. То есть речь должна идти об инициировании открытия в адъюнктуре академии одной из исторических специальностей по понятным и близким для сотрудников академии отраслям наук. А именно: 20.02.22 – «Военная история» по отрасли военные науки или 07.00.10 – «История науки и техники» по отрасли технические науки. К счастью, научный потенциал нашего вуза (в качестве научных руководителей или научных консультантов для соискателей ученых степеней) вполне достаточен для этого!

Список используемых источников

1. *Щерба А.Н.* Формирование военно-промышленного комплекса г. Ленинграда в 20–30-е годы. – СПб.: ВИККА, 1995.

A robust diagnostic classification model with generation of categorical features / A.S. Gogolevskiy, A.V. Romanov, A.V. Rassadin, L.V. Utkin // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 6–11.

A new diagnosis model based on binary classification is proposed. It supports or rejects a certain diagnosis. The model is robust with respect to possible distortions of parameters of complex technical systems and takes into account a possible small number of examples in learning data. The model exploits the well-known robust ε-neighborhood model and the Monte Carlo technique. It extends learning data and allows for applying standard classification tools to processing the data.

Key words: classification, risk functional, robust model, monte carlo technique.

Danilov A. I., Danilov A. A. Dynamic software testing models with two error types // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 12–21.

Dynamic process models (strategies) for software testing with two types of errors are suggested. These models provide the ability to set a probability of error detection during software testing. Labeled graphs and systems of differential equations for each strategy, a set of probability parameters for test processes and states are provided. Computational experiment results are discussed.

Key words – models, software programs, error, probability, software testing strategies, labeled graphs.

Kopkin E.V., Kravtsov A.N. Chikurov V.A. Diagnostic sign selection by their value for recognition of object technical condition // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 22–29.

The questions of semantic properties presentation of diagnostic information in-use for the analysis of the state of difficult technical objects are examined in the article. The algorithm of diagnostic features choice taking into account their value for recognition of the technical state of spaces objects is offered. It gives a numerical example of this algorithm realization.

Key words: Spacecraft, technical condition, information value, technical condition analysis program.

Comparative analysis of complex objects informational interaction operations planning results in dynamic change conditions / Y.S. Manuylov, A.N. Pavlov, S.A. Osipenko, D.A. Pavlov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 30–36.

This article is devoted to peculiarities of elements and subsystems informational interaction operations in dynamic change conditions mathematical planning models development. Set out the results of complex objects potential performance assessment researches with known structural dynamics. Researhes methodology is a comparative analysis of the evaluation results of complex objects potential informational interaction system performance, calculated based on the volume processed and passed on to the consumer information on separate time intervals and throughout the given time interval. Temporary researches result is the complex objects elements and subsystems informational interaction operations in dynamic change conditions planning model based on accounting for certain emergent properties which can be used to improve the planning efficiency. Set out the assumption that the potential system performance will be higher in general planning for all time intervals than when planning for each interval.

Key words: planning, complex objects, structural dynamics, complex operations, informational interaction.

Aleshkin A.P., Bakholdin V.S., Lekontsev D.A. The analysis of information characteristics signals of space radiolocation and radionavigation systems and suggestions for improvement // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 37–42.

The analysis of information characteristics signals of space radiolocation and radionavigation systems. The problems of constructing energy - and information-effective measurement scales and their synthesis for the unambiguous measurement with the required accuracy. The proposed use of mathematical number theory as a mathematical framework for the development of methods for constructing measurement scales.

Key words: radio signals, measurement range, resolution, measurement accuracy, multi-range measurement, mathematical number theory, the information content of measurements, methods of navigation measurements.

Checking the change of structure communications network with dynamic topology / I.V. Berezhnoy, S.M. Gurskiy, V.T. Karasev, V.N. Makovskiy, A.I. Fomin // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 43–47.

The Explored possibilities of the using synergetic theories to information for analysis of the structured organization cellural communications network with dynamic topology. The offered decision of the problem to categorizations of the condition to dynamic topology communications network at access to information, circulating inwardly network.

Key words: communications network with dynamic topology, radioaccess point, honeycomb.

Eremeev I.U., Kletskov D.A. Application Hurst exhibiting for locating packets overhead control channel satellite communications systems that use customer service multiple access time division multiplexing // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 48–56.

The article proposes informative sign for determining the self-similarity of packet overhead control channel satellite communications systems that use customer service multiple access time division multiplexing. The method is based on the assessment of the exhibiting Hurst packet overhead control channel and the data packets to the subscriber load, which exponent by counting R/S analysis.

Key words: self-similarity, Hurst exhibiting, dynamic series, standardized range, R/S analysis.

Eremeev I.U., Staritsin S.S. Time-frequency structure features with “fast” frequency hopping spread spectrum signals formed on M-sequences basis // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 57–65.

In this article model creating non-binary pseudo-random sequence on M-sequences basis are considered. Time-frequency structure features with “fast” frequency hopping spread spectrum signals are distinguish, which are render possible estimate characteristic quantity.

Key words: M-sequences, time-frequency structure, “fast” frequency hopping spread spectrum.

Way for quick definition of primary psychological profile / S.U. Kapicin, A.V. Lysenko, T.S. Nazarova, A.R. Hurmaeva // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 66–70.

The article contains the analysis of existing techniques of handwriting expertise. The authors present the way for quick definition of primary psychological profile based on the automatic graphological data processing.

Key words: psychological profile, graphological data, operational processing.

Prorok V.Y., Gorianskiy A.S. Analysis planning collect non-coordination for the space control // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 71–76.

This paper analyzes the problems solved space monitoring system. Specify the types of non-coordinate information sources to obtain it, described the process of planning the collection of non-coordinate information. The urgency of carrying out research on the development of methods for obtaining optimal planning photometric information on space objects. The mathematical formulation of the objectives of the study are disclosed specific tasks, object and subject of study. The necessity of a software implementation of the developed scientific methodological apparatus collection planning photometric information on space objects.

Key words: coordinate information, specialized tools, space objects, collecting coordinate information.

Novikov S.V., Andrushkevich D.V. Entry into force of regulations in the Russian Federation // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 77–87.

The existing approaches of control of safety of the automated systems are given in article. Merits and demerits of each of them are considered. It is offered to apply in a complex existing approaches of control of safety to elimination of the given shortcomings of separate approaches.

Key words: control of safety of information, management of access, monitoring of a network, audit of a network.

Application of spline-extrapolation for nowcasting of surface temperature / K.L. Voskanyan, L.I. Divinsky, A.D. Kuznetsov, O.S. Serouhova, T.E. Simakina // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 88–92.

This paper considers the scheme of the current prediction of surface temperature based on an extrapolation of time series of cubic splines, evaluates the success of the forecast.

Key words: surface temperature, time series, spline-extrapolation, nowcasting.

The Optoelectronic Device for the Detecting of Spectral and Energetic Parameters and Coordinates of the Source of the IR Laser Radiation / V.G. Ivanov, A.A. Kamenev, G.V. Pospelov, S.V. Savin // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 93–100.

The requirements for the spacecraft optoelectronic device for the detecting of spectral and energetic parameters and coordinates of the source of the IR laser radiation are formulated. The existing technical solutions are reviewed. The technical solution based on the static Fourier spectrometer and the results of experimental simulating are suggested.

Key words: optoelectronic device, laser radiation, infrared, static Fourier-spectrometer.

Maslov V.P., Isakov E.E., Ponomarev S.U. Problem aspects of geographic information systems use in mobile militry units // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 101–108.

The article deals with a brief analysis of the GIS technology possible use for support solutions to maneuver mobile units. The peculiarities of the terrain information effect on the efficiency and decision reliability clarifies the requirements for its content, the necessity to improve the estimation methods and accounting tactical terrain features implemented in geographic information systems are proved in the article. Some aspects of the tactical terrain features using service modules settlement and military applications of GIS "Operator" are presented too.

Key words: mobile units maneuver, rapid decision-making on the maneuver, tactical terrain features, the use of GIS in justifying solutions, GIS "Operator".

Osipov G.K., Alekseev A.V., Efimov A.N. A conceptual model of geographic information systems for military purposes // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. − P. 109–115.

Conceptual model of geographic information system for military use. Set out-particularly the functioning of its major subsystems.

Key words: conceptual model, geographic information system for military purposes, geopetro public information, the coordinate system of military-applied (computational) tasks.

Suchkov V.I., Kravtsov A.N., Tkachenko V.V. Approach to representation of knowledge of methods for processing telemetry data in an automated system special purpose // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 116–121.

The article describes the trek to knowledge representation in a special software complexes processing telemetry data, which provides the setting of the synthesized special software for processing telemetry data almost every controllable object, accumulation and systematization of knowledge needed to process his information. This approach assumes that knowledge (modules) in the form of a concentrate in the boot file to the library organization.

Key words: knowledge, special software, complexes processing telemetry data, modules processing.

Control of support of air system thermal mode of special objects thermostattings with reasons for requirements to its perspective appearance / D.R. Absalyamov, V.M. Motorin, S.N. Buyakov, A.N. Mirgorodskiy, A.V. Litvinyuk // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 122–128.

The mismatch of the modes of functioning of air system of support of the thermal mode of special objects internal and to the external perturbing influences in the form of heatmoist loadings which shall be compensated by this system, leads to the considerable excessive consumption of energy resources, and the thermodynamic potential of outside air isn't used.

Therefore when forming requirements to perspective appearance of BCOTP it is necessary to provide also transition to use in this system of energy saving technologies of processing of air.

Key words: special objects of thermostatting, system of support of the thermal mode, energy efficiency.

Basyrov A.G., Shirobokov V.V. Model of functional distributed computing orbital constellation of microsatellites // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 129–136.

The problem of increasing the autonomy of constellations of microsatellites and the related need to increase the performance of onboard computing systems of spacecraft. A model of functional distributed computing in an orbital grouping of microsatellites. The dependence of the energy consumption in carrying out calculations and data transfer, as well as bandwidth crosslink communication channel on the distance between the microsatellites.

Key words: orbital constellation of microsatellites, distributed computing structure, distributed processing, on-board computer system.

Application of information received from means of radio engineering control for the solution of problems of recognition of spacecrafts / R.A. Gudaev, R.V. Katyucha, S.V. Logunov, D.A. Rogov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 137–141.

The block diagramme of recognition of space vehicles on the basis of the analysis of the radio engineering information and introduction of system of self-training is offered. It is supposed that the synthesised system will allow to raise probability of authentic recognition of space vehicles.

Key words: cybernetics, recognition, systems with training, space vehicles.

The effect of aluminum content on the corrosion resistance of steels / S. Darveish, A.N. Dobrolyubov, E.L. Lededev, N.S. Samoilov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 142–146.

The work examines the effect of aluminum content on the corrosion resistance of steels. The technique of the experiment and its results. The dependence of the values of the mass measure of the rate of corrosion of the aluminum content in the steel.

Key words: corrosion of metals and alloys, chemical corrosion, electrochemical corrosion, corrosion resistance.

Kulganov V.A., Gilvanov P.R. Functional state and efficiency of operators of space-rocket complexes when modeling extreme situations // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 147–155.

Results of camerawork behind the control panel testify to deterioration of indicators of working capacity in the course of modeling of extreme conditions of activity.

It is obviously possible to say about need of the differentiated approach to an assessment of cash characteristics of a functional condition of an organism depending on type of higher nervous activity that can be used both for forecasting of operator working capacity, and in interests of professional psychological selection of military operators.

The analysis of results of research showed that these experts later at repeated seismoinfluences practically had a year no expressed psychoemotional pressure. Probably, under the influence of these trainings this group of persons adapted for extreme situations, as ensured reliable functioning behind the control panel.

Key words: functional state and efficiency of operators, stressful conditions, vegetative indicators, psychoemotional pressure, seismoinfluences, control panel.

Kulganov V.A., Gilvanov P.R. Functional state and efficiency of operators of space-rocket complexes when modelling the waiting mode // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 156–164.

The researches conducted in the conditions of laboratory modeling of operator activity in a waiting mode allowed to reveal dynamics of changes of vegetative functions at examinees. The obtained data testify that these shifts of a functional condition of an organism generally correspond to the changes observed at staff of duty shifts in specific conditions of watch and are expressed in decrease in level of vegetative and power providing an organism.

Complex research of psychophysiological and biochemical indicators was perspective in respect of forecasting of operator activity and professional selection of experts of this category

Key words: functional condition of an organism, working capacity, heart rate, arterial pressure, properties of the main nervous processes, frequency and minute volume of breath.

Mechanical testing of carbon steels with different aluminum content / S. Darveish, A.N. Dobrolyubov, E.L. Lededev, N.S. Samoilov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 165–170.

The paper presents the methodology and results of experimental determination of mechanical characteristics found at the present time is widely used in machine industry carbon alloys with

various contents of aluminum and silicon ("TRIP steels"). To this end performed their tests on uniaxial tensile and impact strength.

Key words: TRIP steel, mechanical testing, mechanical properties.

Method for measuring mass flow rate of the fluid through the restriction device based on the Venturi tube / I.V. Naumchik, L.A. Syrtsov, I.V. Sokolova, T.F. Savina // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P.171–179.

Developed a method to measure the mass flow rate of the fluid, particularly aggressive, through the restriction device based on the Venturi tube. Shown promising ways the hardware implementation of the designed mass flow meter is a variable pressure drop.

Key words: flowmeter, Venturi tube, hydrogen peroxide, a restriction device, the differential-tion gauge.

Prorok V.J., Ohotnikov Y.Y., Cheshev I.V. Optimal order diagnosis radar special purpose // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 180–184.

The most important task in the operation of the radar special purpose is to maintain it in good working condition. For timely and optimal detection of possible failures and regular verification of information interaction of all technical systems is necessary to create an effective method of diagnosing the state of technical systems radar for special purposes. The rational organization of the test involves inspections ordered the use of tests in which the classes of the technical systems that make up the radar for special purposes areidentified at a lower cost. The solution to this problem involves consideration of a priori data about the most probable state of the object of study, and the possible blurring of the results obtained. Efficient methods for solving scheduling test audits of these technical systems is a method based on consistent application of decision-making procedures with fuzzy preference relation on the set of alternatives.

Key words: complex technical systems, radar, special purpose, a fuzzy preference relation, test verification, fuzzy sets.

The method of use of the software “Micro-Analiz Pro” for analysis of the phase composition carbon steels with different contents aluminum / S. Darveish, A.N. Dobrolyubov, E.L. Lededev, N.S. Samoilov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 185–191.

The paper presents the analysis of the phase composition of carbon steels with various contents of aluminum, performed using image analysis «Micro-Analiz Pro». It is proved that at a certain content of aluminum is observed maximum ferritic component, providing the increase of ductility of the steel and its corrosion resistance. First introduced indicator of the quality of the steel, namely the ratio of the median to the mode of the histogram of the image surface of the steel.

Key words: TRIP steels, phase composition, microfractographic analysis.

Shevchenko A.V., Yuryev A.S., Dema I.A. Application of modern methods of numerical modeling during the developing and improvement of aircraft // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 192–197.

Application of modern methods of numerical modeling during the developing and improvement of aircraft is considered. The pilot study in a subsonic wind tunnel of T-3 for verification of the mathematical models and boundary conditions used in CAD – the Ansys programs with the CFX and Flow Simulations SolidWorks code is conducted.

Key words: aircraft, numerical modeling, processes of a flow.

Kalinin V.N., Kotckovich A.V., Khokhlova M.V. Method of intermediate control the level of formation of cadets competences using computer testing. // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 198–204.

The method of phase-intermediate control is proposed for correct evaluation of the level of formation of cadets competences for academic discipline. It is shown, that a consistent level of competence appointment allows to raise the objectivity of quantitative assessments of learning outcomes.

Key words: competences, intermediate control, method, computer testing.

Konorev V.V. Transformation of the military education system and its influence on the cultural image of the Red Army Commander (1920's) // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 205–217.

The article describes the main problems of the military education system creation and transformation which the Soviet power faced and had to solve during the military reforms of 1924-1928.

The military education principles for the Red Army of the new type formed in that period became the foundation of command personnel training for long years.

While working at the article the author used a wide range of literature on the subject.

Key words: military reforms of 1924-1928; training of the Red Army commanders; military educational institutions; military education.

Gytorovich O.V. The problem of war and peace in the history of philosophy // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 218–228.

The article points out the fact that the military-philosophical conception had a considerable development throughout the history of philosophy. There is not historical era that maintains aloofness from the understanding of the phenomenon of war. Trying to unravel the nature of war, philosophers hatched out a variety of opinions about its origin, nature, the preparation and conduct, classified wars and focused on the relationship between war and policy. The task of the author was to show the diversity and ambiguity of perception of war, one of the most prevalent phenomena of world political practice.

Key words: war, war dialectics, policy, eternal peace, humanism, pacifism, a complex social phenomenon.

Losik A.V., Sherba A.N. About the main directions of researches on historical scientific specialties of scientists and the staff of Military space academy of name A.F. Mozhaisk since the 1990th years to the present: historiographic analysis // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 647. – P. 229–239.

In article researches on historical scientific specialties, conducted scientists and the staff of Military space academy of name A.F are analyzed. Mozhaisk (further – academy) since the 1900th years to the present. Article material convincingly proves that fact that during noted researches on the basis of academy started being formed and actively to develop school of sciences on problems of history of the domestic regional (Leningrad) military industrial complex (MIC) in the XX century, developments of arms and military equipment, history of military space activity to which work teachers and the staff of other higher education institutions and organizations of St. Petersburg are connected.

Key words: scientific researches, scientific disciplines, arms and military equipment, military industrial complex, history of science and equipment, competitor, author of dissertation.

Абсалямов Дамир Расимович, профессор 103-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-43.

Алексеев Антон Викторович, старший научный сотрудник 16-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (931) 250-27-02, e-mail: Alex__.ru@mail.ru.

Алёшкин Андрей Петрович, профессор 31-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8(812) 347-95-31, e-mail: a_aleshkin@mail.ru

Андрушкевич Дарья Владимировна, адъюнкт 61-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(812)347-96-87.

Басыров Александр Геннадьевич, начальник 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-24, e-mail: alexanderbas@mail.ru

Бахолдин Владимир Станиславович, доцент 33-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8(812) 347-95-33, e-mail: bvs@email.ru

Бережной Игорь Владимирович, доцент 55-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-54, e-mail: vka.13@yandex.ru

Буяков Сергей Николаевич, преподаватель 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-43, *e-mail: buysergej@ya.ru*

Восканян Карина Левановна, доцент кафедры экспериментальной физики атмосферы ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет», (195196, Россия, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98); кандидат физико-математических наук; тел.: 8 (906) 274-65-44, e-mail: kvosia@mail.ru

Гильванов Павел Ринатович, начальник 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-93, e-mail: gilvanov@bk.ru

Гоголевский Анатолий Сергеевич, старший научный сотрудник 51-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (981) 888-44-39, e-mail: gogolevski@bk.ru

Горянский Александр Сергеевич, начальник 952-й учебной лаборатории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911)-145-07-80, e-mail: gorynskiy@mail.ru

Гудаев Роман Александрович, адъюнкт 83-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(812) 347-98-66.

Гурский Сергей Михайлович, профессор 54-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-54, e-mail: vka.13@yandex.ru

Гуторович Ольга Викторовна, доцент 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук; тел.: 8(911) 841-69-19; e-mail: olwikgut@yandex.ru

Данилов Андрей Анатольевич, ведущий инженер-программист ЗАО «НОКИА СОЛЮШНЗ ЭНД НЕТВОРКС» (192019, Россия, Санкт-Петербург, ул. Седова, 12); тел.: 8 (921) 762-46-52, e-mail: Andrey.Danilov.aad@mail.ru

Данилов Анатолий Исаевич, доцент 23-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (904) 555-48-30, e-mail: Andrey.Danilov.aad@mail.ru

Дарвейш Самир, адъюнкт 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-99-11.

Дёма Игорь Анатольевич, научный сотрудник 17-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: artnetru@yandex.ru

Дивинский Леонид Исаевич, профессор кафедры экспериментальной физики атмосферы ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (195196, Россия, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98); доктор физико-математических наук; тел.: 8 (911) 907-28-34, e-mail: divinsky-39@mail.ru

Добролюбов Алексей Николаевич, старший преподаватель 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-99-11.

Еремеев Игорь Юрьевич, начальник 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-57.

Ефимов Алексей Николаевич, старший преподаватель 71-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 680-91-30, e-mail: Efima777@mail.ru

Иванов Владислав Георгиевич, старший научный сотрудник 43-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор физико-математических наук; тел.: 8 (812) 347-95-72, e-mail: vivanovg@gmail.com

Исаков Евгений Естиславович, старший преподаватель 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-29.

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) 347-96-72, e-mail: kvn.112@mail.ru

Каменев Анатолий Анатольевич, ведущий научный сотрудник 4-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) 347-95-72.

Капицын Сергей Юрьевич, заместитель начальника 65-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-99-55.

Карасёв Валерий Трофимович, преподаватель 54-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-54, e-mail: vka.13@yandex.ru

Катюха Роман Васильевич, преподаватель 83-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(812) 347-98-66.

Клецков Дмитрий Александрович, адъюнкт 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(921) 658-52-35, e-mail: major7786@mail.ru

Конорев Виктор Викторович, доцент 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат исторических наук; тел.: 8(911) 100-41-03, e-mail: konorev.vv@gmail.com

Копкин Евгений Вениаминович, профессор 93-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-65, e-mail:kopkins@mail.ru

Коцкович Алла Владимировна, старший преподаватель 112-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 232-06-25, e-mail: alla_kotskovich_@mail.ru

Кравцов Александр Николаевич, заместитель начальника 93-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-65, e-mail:kan1970@bk.ru

Кузнецов Анатолий Дмитриевич, профессор кафедры экспериментальной физики атмосферы ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (195196, Россия, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98); доктор физико-математических наук; тел.: 8 (921) 324-66-72, e-mail: kuznetsov1946@inbox.ru

Кулганов Владимир Александрович, старший преподаватель 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор медицинских наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-93, e-mail: kulganof@mail.ru

Лебедев Евгений Леонидович, начальник 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-11.

Леконцев Дмитрий Александрович, адъюнкт 33-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(812) 347-95-33, e-mail: kuvalda13@mail.ru

Литвинюк Андрей Викторович, преподаватель 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-43, e-mail: lav73@rambler.ru

Логунов Сергей Владимирович, преподаватель 83-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(812) 347-98-66.

Лосик Александр Витальевич, старший научный сотрудник 61-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор исторических наук, профессор; тел.: 8 (812) 431-06-95.

Лысенко Анатолий Вячеславович, преподаватель 65-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 993-45-00.

Маковский Вячеслав Николаевич, докторант 55-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-54, e-mail: vka.13@yandex.ru

Мануйлов Юрий Сергеевич, профессор 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 223-40-62, e-mail: kotmanoff@rambler.ru

Маслов Владимир Петрович, профессор 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-29.

Миргородский Александр Николаевич, начальник 432-й учебной лаборатории 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-43, *e-mail*: *mirgorodsky@nm.ru*

Моторин Виктор Михайлович, доцент 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-43, *e-mail*: *stmvm@ya.ru*

Назарова Татьяна Сергеевна, курсант 635/2-й учебной группы 65-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-55.

Наумчик Игорь Васильевич, заместитель начальника 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: igornaumchik@yandex.ru

Новиков Сергей Витальевич, доцент 61-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8(812)347-96-87, e-mail: Novikov1976@mail.ru

Осипенко Сергей Александрович, старший преподаватель 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 783-40-01, e-mail: fon_vakano@mail.ru

Осипов Георгий Константинович, профессор 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

Охотников Юрий Юрьевич, преподаватель 95-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911)-964-61-08, e-mail: georgy-03@mail.ru

Павлов Александр Николаевич, доцент 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 259-71-53, e-mail: pavlov62@list.ru

Павлов 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

Пономарёв Сергей Юрьевич, преподаватель 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-29.

Поспелов Герман Витальевич, 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.: 8 (812) 347-95-72.

Пророк Валерий Ярославович, профессор 95-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (911) 161-00-95, e-mail: val_prorok@mail.ru

Рассадин Алексей Владимирович, начальник 561-й лаборатории – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 998-97-22, e-mail: alexrass1@yandex.ru

Рогов Дмитрий Александрович, начальник 83-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-46.

Романов Андрей Владимирович, начальник 514-й лаборатории – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (960) 239-90-23, e-mail: romanich-87@mail.ru

Савина Татьяна Фёдоровна, старший преподаватель 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: savina@yandex.ru

Савин Сергей Владимирович, научный сотрудник 43-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-72, e-mail: sav-insw@inbox.ru

Самойлов Николай Семёнович, профессор 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-99-11.

Сероухова Ольга Станиславовна, доцент кафедры экспериментальной физики атмосферы ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (195196, Россия, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98); кандидат физико-математических наук; тел.: 8 (921) 324-66-71, e-mail: serouhova@inbox.ru

Симакина Татьяна Евгеньевна, доцент кафедры экспериментальной физики атмосферы ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (195196, Россия, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98); кандидат физико-математических наук; тел.: 8 (911) 231-87-45, e-mail: tatiana.simakina@gmail.com

Соколова Ирина Викторовна, профессор 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат химических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: sokolova@yandex.ru

Старицин Сергей Сергеевич, адъюнкт 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8-921-566-02-34, e-mail: sleepingman@yandex.ru

Сучков Валерий Иванович, профессор 93-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 347-95-65.

Сырцов Леонид Аркадьевич, доцент 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: ved@yandex.ru

Ткаченко Владимир Викторович, преподаватель 93-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 347-95-65, *e-mail: vik_hohol@mail.ru*

Уткин Лев Владимирович, заведующий кафедрой управления, автоматизации и системного анализа Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова (194021, Россия, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 670-92-46, e-mail: lev.utkin@mail.ru

Фомин Александр Игоревич, преподаватель 54-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-54, *e-mail:* vka.13@yandex.ru

Хохлова Марина Владимировна, доцент 112-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат педагогических наук, доцент; тел.: 8 (911) 939-51-74, e-mail:mvxox@mail.ru

Хурмаева Алиса Равиловна, курсант 635/2-й учебной группы 65-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-55.

Чешев Игорь Валерьевич, курсант 92-го курса Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (921)-558-26-65, e-mail: igor-cheshev6@rambler.ru

Чикуров Виталий Александрович, начальник 93-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-65, e-mail: vetal-krym@mail.ru

Шевченко Артём Васильевич, начальник 171-й лаборатории (НИ) – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: artnetru@yandex.ru

Широбоков Владислав Владимирович, адъюнкт 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-24, e-mail: vladislavbars@gmail.com.

Щерба Александр Николаевич, профессор 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор исторических наук, профессор; тел.: 8 (812) 459-65-51, e-mail: a.n.sherba@mail.ru

Юрьев Анатолий Степанович, профессор 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: artnetru@yandex.ru

Алексеев Тимофей Владимирович, профессор 108-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор исторических наук, доцент; тел.: 8(911) 273-96-44.

Башкирцев Виктор Павлович, профессор 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат педагогических наук, доцент; тел.: 8(911) 218-23-57.

Гришин Вячеслав Васильевич, профессор 32-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8(812) 347-96-32.

Доронин Александр Павлович, профессор 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия,Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(812) 347-95-52.

Еремеев Игорь Юрьевич, начальник 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(911) 238-06-62.

Замарин Александр Иванович, профессор 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(921) 918-77-72.

Ильиных Василий Анатольевич, начальник 65-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8(921) 302-97-69.

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

Каргу Дмитрий Леонидович, начальник 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8(911) 964-08-60, e-mail: dmitrii_kargu@mail.ru

Кириченко Дмитрий Валерьевич, начальник 4-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, старший научный сотрудник; тел.: 8(911) 951-97-58, e-mail: dvkey@rambler.ru

Козырев Геннадий Иванович, профессор 34-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(911) 217-33-99.

Косырев Сергей Викторович, профессор 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8(812) 347-96-93.

Лебедев Евгений Леонидович, начальник 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8(812) 347-95-11, e-mail: zlebedev@yandex.ru

Мануйлов Юрий Сергеевич, профессор 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(812) 347-95-65, e-mail:kotmanof@rambler.ru

Минаков Евгений Петрович, профессор 23-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(911) 247-98-01, e-mail: ep.minakov12345@mail.ru

Мысливцев Тимофей Олегович, начальник 31-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8(812) 347-99-31.

Онуфрей Андрей Юрьевич, ведущий научный сотрудник 5-го управления 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) 230-28-15.

Пирогов Сергей Юрьевич, старший преподаватель 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8(812) 347-95-25, e-mail: pirogov205@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

Садин Дмитрий Викторович, начальник 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-11, e-mail: sadin@yandex.ru

Сеньченков Валентин Иванович, профессор 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(911) 250-60-79.

Ханков Сергей Иванович, старший научный сотрудник 43-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8(812) 393-57-16.

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) 347-97-25.

Чарушников Александр Валерьевич, начальник 2-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, доцент; тел.: 8(921) 912-92-85.