

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

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

**В ы п у с к 643**  
**Июнь**

*Издается с 1942 года*



Санкт-Петербург  
2014

УДК 355.232.6:629.78  
ББК 68.55  
В 634

Р е д к о л л е г и я:

председатель, **Ю.В. Кулешов**, доктор техн. наук, проф.;  
зам. председателя, **И.В. Сахно**, доктор техн. наук, проф.;  
ответственный секретарь, **С.Г. Алёхин**, кандидат техн. наук;  
**А.И. Замарин**, доктор техн. наук, проф.; **Г.Н. Мальцев**, доктор техн. наук, проф.;  
**К.Ю. Цветков**, доктор техн. наук, проф.; **Ю.С. Мануйлов**, доктор техн. наук, проф.;  
**А.Г. Ломако**, доктор техн. наук, проф.; **В.В. Козлов**, доктор техн. наук, проф.;  
**В.Н. Арсеньев**, доктор техн. наук, проф.; **В.Ф. Алексеев**, доктор техн. наук, доцент;  
**Г.Д. Петров**, доктор техн. наук, проф.; **В.Н. Кузьмин**, доктор воен. наук, проф.;  
**В.Н. Калинин**, доктор техн. наук, проф.; **А.П. Алешкин**, доктор техн. наук, проф.;  
**И.Ю. Еремеев**, доктор техн. наук, проф.; **М.А. Еремеев**, доктор техн. наук, проф.;  
**А.В. Паршуткин**, доктор техн. наук, доцент; **А.В. Чарушников**, доктор воен. наук, доцент;  
**В.В. Клейменов**, доктор техн. наук, проф.; **Н.Ф. Аверкиев**, доктор техн. наук, проф.;  
**Т.О. Мысливцев**, доктор техн. наук; **А.В. Харченко**, доктор техн. наук, доцент;  
**Н.С. Кужекин**, кандидат фил. наук, проф.; **Н.Б. Кунтурова**, доктор пед. наук, проф.;  
**Н.А. Репях**, кандидат фил. наук, доцент; **Т.В. Алексеев**, доктор истор. наук, доцент

Ответственные за выпуск:

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

Техническая поддержка:

**Н.А. Станкевич**

В 634 **Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.**  
Выпуск 643 / под ред. Ю.В. Кулешова; ответственные за вып.:  
С.В. Чернышёв, А.А. Диголь; техническая поддержка: Н.А. Станкевич. –  
СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014. – 246 с.

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

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

УДК 355.232.6:629.78  
ББК 68.55

© ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014

Подписано к печ. 23.09.2014  
Гарнитура Times New Roman  
Авт. л. 30,50

Формат печатного листа 445×300/4  
Усл. печ. л. 62,00  
Заказ 2844

Бесплатно

Типография ВКА имени А.Ф. Можайского

## СОДЕРЖАНИЕ

### СБОР И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>Доронин А.П., Дидык О.И., Шмалько С.А.</i> Повышение оперативности проведения аэрокосмических наблюдений за счет рассеяния облаков.....	7
<i>Калинин Т.В., Лактюхин О.А., Хрестинин Д.В.</i> Оценка показателей качества обнаружения точечного объекта вне атмосферы оптико-электронным комплексом в различных диапазонах.....	11
<i>Карин С.А., Лобовко В.В.</i> Инновационная платформа для создания специализированных приложений обработки пространственных данных.....	22
<i>Катюха Р.В., Кадолин А.Н., Панфёров П.П.</i> Алгоритм многопараметрической идентификации технического состояния космических аппаратов на базе нечеткой логики.....	30

### ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

<i>Кежаев В.А.</i> Проблемные вопросы моделирования стрельбы артиллерии в локальных войнах и вооруженных конфликтах.....	34
<i>Кежаев В.А., Давидюк И.В.</i> Методологические особенности оценивания эффективности высокоточного оружия при условии аддитивности разнородной информации.....	39
<i>Кежаев В.А., Заякин А.В., Канищева Ю.Ю.</i> Научно-методические вопросы применения когнитивной графики и электронных карт местности в задачах моделирования боевых действий артиллерии.....	42
<i>Кежаев В.А., Чибисов Д.А.</i> Методические вопросы оценивания эффективности высокоточного оружия в условиях информационного противоборства.....	46
<i>Логунов С.В., Фролов Д.В.</i> Разработка адаптивного алгоритма оптимизации числа признаков распознавания звезд по некоординатной информации.....	52
<i>Маслов В.П., Исаков Е.Е.</i> Направления совершенствования информационного обеспечения принятия решения командиром на маневр подразделений воинской части.....	60
<i>Половников В.И., Коваленко Е.Л., Суворова И.В.</i> Расчет времени нахождения геостационарного спутника в теневом цилиндре Земли в течение календарного года.....	64

<i>Половников В.И., Коваленко Е.Л., Суворова И.В.</i> Упрощенный метод расчета координат истинного Солнца в течение тропического года.....	68
<i>Сучков В.И., Чикуров В.А., Попов Д.В.</i> Принципы организации знаний о методах обработки телеметрируемых параметров.....	72

## РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

<i>Ардашов А.А., Сасункевич А.А., Фоминов И.В.</i> Применение метода наименьших квадратов к задаче калибровки блока микромеханических акселерометров .....	76
<i>Гера В.И., Архипов А.А.</i> Рекомендации по идентификации опасности при анализе риска эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры.....	84
<i>Горбулин В.И., Радионов Н.В., Каргу Д.Л., Немиров А.В., Астахов Н.Н.</i> Методика расчета компонент вектора малой силы взаимодействия токовых контуров бортовой системы электроснабжения с внешним неоднородным магнитным полем Земли.....	88
<i>Гула Д.Н., Тупаев В.В.</i> Методика расчета долговечности металлического покрытия стартового комплекса при циклическом нагружении на стадии образования трещины.....	92
<i>Гусев Н.Н., Исхаков Ш.Ш.</i> Опыт обследования технического состояния строительных объектов космической отрасли на основе современных нормативных документов.....	95
<i>Дзгоев А.М., Лаповок Е.В., Ханков С.И.</i> Аналитическая методика расчета нестационарной температуры сферического космического объекта при его движении по полярной эллиптической орбите.....	98
<i>Кобан А.Я., Дудалев Г.В., Михалченков А.А.</i> О подходе к совершенствованию методического аппарата построения системы радиолокационной разведки на основе формирования интегрального показателя.....	107
<i>Козлов В.В., Мокан Д.О., Чирва С.В.</i> Оценивание адаптивности сложной технической системы.....	112
<i>Кулагин А.А., Калмыков Е.В.</i> Исследование вопросов защиты систем обратного водоснабжения объектов наземной космической инфраструктуры от биологических обрастаний.....	116

<i>Мануйлов Ю.С., Зиновьев В.Г., Рахимов Р.Р., Ядренников С.С.</i> Оптимальный регулятор угловой стабилизации космического аппарата нежесткой конструкции с оцениванием параметров методом асимптотической идентификации.....	120
<i>Некрасов И.Н.</i> Применение методов регрессионного анализа при определении достоверности контроля и диагностирования технических систем.....	129
<i>Попов В.А., Козлов В.В., Мокан Д.О., Тиличко Ю.Н.</i> Оптимизация конструктивных решений облицовки стен газоотводных каналов стартового сооружения, предназначенного для запуска ракеты-носителя «Протон» в условиях его реконструкции.....	135
<i>Птушкин А.И.</i> Методика обоснования объема финансирования инновационного развития объектов наземной космической инфраструктуры.....	141
<i>Рымкевич П.П., Коцкович А.В.</i> Нестационарный теплоперенос через конструкционные элементы космических аппаратов.....	150
<i>Садин Д.В., Самойлов Н.С., Варварский В.М.</i> Сравнение точности некоторых TVD-схем для задач волнового истечения двухфазной дисперсной среды..	155
<i>Шафигуллин И.Ш., Кубуша А.В.</i> Методические подходы к описанию иерархической структуры многоуровневой организационно-технической системы военного назначения.....	164
<i>Швайковский М.А., Ильин А.В.</i> Обоснование выбора устройств релейной защиты с электромеханической и микропроцессорной элементной базой....	169
<i>Щербаков В.И.</i> Расширение потенциальных областей применения космических тросовых систем на основе классификации процессов взаимодействия.....	173

## ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

<i>Горшков Л.К.</i> Этимологические корни основных терминов и речевых оборотов теоретической механики.....	180
<i>Дугин И.М.</i> К разработке педагогической концепции нравственного воспитания учащихся общеобразовательных учебных заведений Министерства обороны Российской Федерации (системно-антропологический подход)...	186

## ВОПРОСЫ ГУМАНИТАРНЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК

<i>Гуторович О.В.</i> Феномен современной техники: этические аспекты.....	196
<i>Курбатов О.А.</i> Религиозно-нравственное воспитание в русской армии в конце XIX – начале XX веков.....	202

<i>Федулов С.В., Станкевич Н.А.</i> Военно-техническое сотрудничество императорской России и Соединенных Штатов Северной Америки в годы Первой мировой войны.....	216
<i>Шабельник Н.В.</i> Роль предприятий местного подчинения Центрального Черноземья в военно-промышленном комплексе страны в годы Великой Отечественной войны.....	222
Рефераты статей.....	228
Сведения об авторах.....	236
Сведения о рецензентах.....	243

А.П. Доронин,  
доктор техн. наук, доцент;  
О.И. Дидык,  
С.А. Шмалько

## ПОВЫШЕНИЕ ОПЕРАТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СЧЕТ РАССЕЯНИЯ ОБЛАКОВ

Рассматриваются вопросы, связанные с возможностью повышения оперативности проведения аэрокосмических наблюдений за счет рассеяния облаков. На основе обработки материалов самолетного зондирования атмосферы над рядом пунктов Российской Федерации приводятся количественные оценки пригодности к рассеянию переохлажденных слоистообразных фронтальных и внутримассовых облаков по месяцам, сезонам, полугодиям. Делается вывод о целесообразности применения средств модифицирования облаков (особенно в месяцы холодного полугодия) для повышения качества аэрокосмических наблюдений.

Ключевые слова: облака, модифицирование, внутримассовые слоистообразные облака, фронтальные слоистообразные облака, рассеяние облаков.

Известно, что на качество проведения аэрокосмических наблюдений существенное влияние оказывают метеорологические процессы и явления, среди которых особое место занимают облака и туманы. В частности, в этой связи уместно будет привести данные, опубликованные в работе [1]. Авторы данной работы указывают, что если не учитывать мешающий фактор облачности, то космический аппарат (КА) «Ресурс – ДК1» может осуществлять детальный обзор территории до  $71^{\circ}$ с.ш. за 45 - 65 суток в зависимости от степени использования наклонной съемки за счет разворотов по каналу крена, а также в зависимости от высоты съемки, меняется от 360 до 610 км.

При указанных выше условиях КА «Монитор - Э» может обеспечить обзор российской территории до широты  $82,5^{\circ}$ с.ш. за 15–22 дня. С учетом наличия облаков указанные периоды обзора могут увеличиться на юге страны в 2 раза, а в северных районах – в 5–7 раз.

Актуальной является задача по поиску методов и средств, позволяющих устранить или в значительной мере снизить отрицательное влияние облаков и туманов на оперативность проведения аэрокосмических наблюдений. В качестве таковых в настоящей работе предлагается использовать методы и средства модифицирования (МОДИФ) облаков и туманов и, прежде всего, переохлажденных (наблюдаются при значениях температуры воздуха ниже  $0^{\circ}\text{C}$ ).

С учетом вышеизложенного, в настоящей работе приведены результаты исследований, связанные с оценкой ресурсности переохлажденных фронтальных и внутримассовых слоистообразных облаков (ФСО и ВСО) над рядом районов России, применительно к задаче рассеяния.

Одним из вопросов, связанных с проблемой МОДИФ облаков и туманов, является исследование повторяемости облаков различных форм в конкретных физико-географических районах. Исходя из этого, в работе представлены результаты исследования в этом направлении применительно к центральным, северо-западным, северным и дальневосточным районам России. Основным исходным материалом для выполнения настоящей работы явились протоколы сетевого самолетного зондирования (СЗА) ТАЭ-7,7м над Архангельском (1953–1964), Санкт-Петербургом (1953–1964, Москвой (1953–1964), Хабаровском (1952–1967).

Всего проанализировано свыше 14 тысяч подъемов самолетов-зондировщиков. Результаты выполненного исследования приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Относительная повторяемость (%) сплошной облачности различных форм**

Пункт	Объекты наблюдения							Число подъёмов самолётов-зондировщиков
	Только St-Sc одно-и много-слойные	St-Sc в сочетании с Ac	Ns	As	Только Ac	Только Cu	Си, Сb в сочетании с St-Sc, Ac	
Архангельск	<u>36,1</u> 23,2	<u>4,2</u> 7,4	<u>37,0</u> 19,6	<u>13,5</u> 12,9	<u>4,0</u> 14,9	<u>4,2</u> 16,0	<u>1,0</u> 6,0	<u>1637</u> 1366
Санкт-Петербург	<u>49,6</u> 26,6	<u>5,1</u> 9,6	<u>22,5</u> 13,0	<u>15,4</u> 11,7	<u>5,1</u> 22,2	<u>1,9</u> 14,4	<u>0,4</u> 2,5	<u>2182</u> 1671
Москва	<u>45,7</u> 22,7	<u>12,0</u> 8,8	<u>19,1</u> 11,2	<u>17,8</u> 13,9	<u>4,5</u> 16,1	<u>0,2</u> 12,7	<u>0,7</u> 14,6	<u>2585</u> 3288
Хабаровск	21,5	6,3	25,1	30,4	13,6	2,6	0,5	1472

**Примечание:** В числителе приведены данные, относящиеся к холодному полугодию, в знаменателе – к теплому. Для Хабаровска данные отнесены ко всему году.

Анализ данных, приведенных в табл. 1, наглядно свидетельствует о том, что над всеми рассматриваемыми районами, за исключением дальневосточного района, в течение года преобладающей формой облаков является слоистая (St) и слоисто-кучевая (Sc). Так, повторяемость только St-Sc облаков в холодное полугодие составляет от 36,1 до 55,0% (в зависимости от района), в теплое – от 22,7 до 30,1%. Следовательно, можно ожидать, что St-Sc облака, наблюдающиеся как самостоятельно, так и в сочетании с высоко-кучевыми (Ac) облаками, будут одним из основных объектов МОДИФ.

Несмотря на то, что St-Sc облака в дальневосточных районах России встречаются гораздо реже (21,5%) (по сравнению с рассматриваемыми выше районами), тем не менее они также будут одним из объектов МОДИФ.

Другим основным объектом МОДИФ уже во всех рассматриваемых районах будут являться фронтальные облака, содержащие системы слоисто-дождевых (Ns) и высоко-слоистых (As) облаков. Так, на повторяемость фронтальных Ns облаков в холодное полугодие в зависимости от района приходится от 19,1 до 37,0%, в теплое – от 11,2 до 15,6% соответственно. Над дальневосточными районами повторяемость таких облаков в течение года составляет 25,1%.

Значения повторяемости фронтальных As облаков для рассматриваемых районов в холодное полугодие находятся в пределах 10,9 – 17,8%, в теплое – в пределах 11,7 – 15,8%. Для дальневосточных районов повторяемость As облаков в течение года составляет 30,4%.

В теплое полугодие заметной повторяемостью над всеми рассматриваемыми районами обладают высоко-кучевые (Ac) облака (от 13,6 до 23,2% в зависимости от района). Следовательно, и эти облака также могут быть объектом МОДИФ с определенной целью.

Вместе с тем повторяемость кучевых (Cu) и кучево-дождевых облаков (Cb) в теплое полугодие занижена вследствие того, что зондирование этих облаков запрещается (на расстоянии не менее 10 км и выше облаков не менее 0,5 км), что диктуется безопасностью полетов. Поэтому можно предположить, что эти формы облаков в теплое полугодие (особенно в летний период) также могут быть объектами МОДИФ.

Полученные в настоящей работе данные о повторяемости облаков различных форм имеют практическую ценность и могут быть использованы при планировании операций по их модифицированию.

С учетом данных, приведенных в табл. 1, в работе получены количественные оценки пригодности фронтальных и внутримассовых слоистообразных облаков к модифицированию с целью рассеяния облачного покрова.

Методика обработки материалов СЗА заключалась в следующем. К фронтальным слоистообразным облакам (ФСО) относились случаи зондирования, когда наблюдались либо одни слоисто-дождевые облака (Ns), либо Ns в сочетании с другими формами облаков, включая и высоко-слоистые (As), а также случаи зондирования, когда наблюдались либо одни As облака, либо As в сочетании с другими формами облаков. К внутримассовым слоистообразным облакам относились случаи зондирования атмосферы, когда наблюдались или многослойные слоистые, слоисто-кучевые облака в количестве 8–10 баллов, или эти же формы облаков в сочетании с высоко-кучевыми облаками.

Пригодными к рассеянию считались капельные или смешанные облака со средней температурой слоя не выше минус 3°C, вертикальная мощность которых не превышала 1000 м. Случаи многослойной облачности, когда один слой был пригоден к рассеянию, а другой – нет, из рассмотрения исключались [2 – 4].

Результаты обработки материалов самолетного зондирования атмосферы, выполненной с учетом вышеуказанного критерия пригодности облаков к рассеянию, приведены на рис. 1 и в табл. 2.

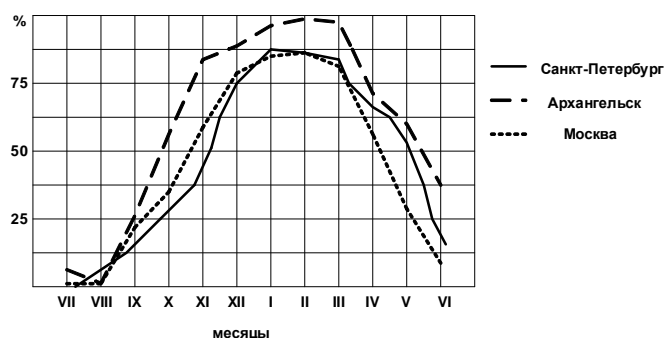


Рис. 1. Оценка пригодности (%) к рассеянию переохлажденных внутримассовых слоистообразных облаков

Таблица 2

**Оценки пригодности (%) к рассеянию переохлажденных внутримассовых слоистообразных облаков**

Пункт зондирования атмосферы	Сезон				Полугодие	
	зима	весна	лето	осень	холодное	тёплое
Архангельск	93,9	79,5	17,0	57,6	84,8	29,5
Санкт-Петербург	86,6	70,7	6,5	37,5	70,1	31,5
Москва	82,1	60,1	3,0	42,4	77,5	26,2

Из анализа полученных данных видно, что наиболее благоприятные условия для модифицирования переохлажденных слоистых, слоисто-кучевых облаков с целью их рассеяния наблюдаются для центральных, северо-западных и северных районов России в месяцы холодного полугодия (от 70,1 до 84,8% в зависимости от района) с максимумом повторяемости, приходящимся на январь-февраль (рис. 1). Зимой оценки пригодности облаков к рассеянию самые высокие (от 82,1 до 93,9% в зависимости от района) по сравнению с другими районами. В летний период в связи с повышением температуры воздуха пригодные к рассеянию облака встречаются реже всего (как правило, не более, чем в 10% случаев). Однако в переходные сезоны оценки пригодности облаков к рассеянию остаются достаточно высоки-

ми, особенно весной (от 60,1 до 79,5% в зависимости от района), снижаясь осенью до 37,5–57,6%. Полученные оценки пригодности переохлажденных слоистых, слоисто-кучевых облаков к рассеянию по сезонам вполне закономерно объясняются сезонным ходом распределения температуры воздуха в рассматриваемых районах.

Иная картина в отношении переохлажденных слоистых, слоисто-кучевых облаков пригодных к рассеянию, наблюдается над районами Хабаровска. Здесь пригодные к рассеянию облака наблюдаются далеко не во все месяцы года. Полученные оценки свидетельствуют о том, что значения пригодности облаков к рассеянию составляют: в марте – 44,9%, апреле – 46,7%, мае – 15,4%, сентябре – 7,7%, ноябре – 71,4%, декабре – 22,2%.

В табл. 3 приведены оценки пригодности к рассеянию переохлажденных ФСО.

Анализ полученных данных свидетельствуют о том, что над рассматриваемыми районами, за исключением районов Архангельска, пригодные к рассеянию ФСО наблюдаются не часто (не более 20%). Особенно редко ФСО пригодны к рассеянию над районами Хабаровска (не более 2–3% в течение года). Это связано, прежде всего с тем, что ФСО имеют значительную мощность.

Таблица 3

**Оценки пригодности (%) к рассеянию переохлажденных фронтальных слоистообразных облаков**

Пункт зондирования атмосферы	Сезон				Полугодие	
	Зима	Весна	Лето	Осень	холодное	теплое
Архангельск	50,0	28,7	9,4	21,4	37,7	16,3
Санкт-Петербург	17,4	10,3	15,3	17,7	17,2	12,7
Москва	10,8	9,3	5,4	6,1	10,0	6,7
Хабаровск	-	2,1	2,5	3,2	2,0	1,9

Полученные в работе данные имеют практическую ценность, поскольку они позволяют, не проводя непосредственно экспериментальные работы, оценить ресурсность облаков в конкретном физико-географическом районе с целью рассеяния облачного покрова или вызывания (интенсифицирования) осадков. Они могут быть использованы также при подготовке, планировании и проведении мероприятий по модифицированию облаков в интересах решения конкретных прикладных задач, например, проведения аэрокосмического мониторинга, проведения поисково-спасательных работ, выброски аварийных групп. С учетом наличия в России самолетов, оборудованных специальными установками и генераторами для диспергирования химических реагентов с целью засева облаков, представляется целесообразным проведение работ по модифицированию переохлажденных слоистообразных облаков в интересах повышения оперативности выполнения аэрокосмических наблюдений.

**Список используемых источников**

1. Седельников В.П., Бровко Е.А., Ефимов С.А. Основные положения концепции создания Системы комплексного топографического мониторинга на основе данных дистанционного зондирования земли в целях актуализации пространственных данных. – Геодезия и картография, 2007. – Вып. №2. – С. 2–5.
2. Половина И.П. Рассеяние переохлажденных слоистообразных облаков и туманов. – Л.: Гидрометиздат, 1980. – 214 с.
3. Половина И.П. Воздействия на внутримассовые облака слоистых форм. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 215 с.
4. Леонов М.П., Перелет Г.И. Активные воздействия на облака в холодное полугодие. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 152 с.

Т.В. Калинин,  
кандидат техн. наук;  
О.А. Лактюхин,  
кандидат воен. наук, доцент;  
Д.В. Хрестинин

## ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ ТОЧЕЧНОГО ОБЪЕКТА ВНЕ АТМОСФЕРЫ ОПТИКО- ЭЛЕКТРОННЫМ КОМПЛЕКСОМ В РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНАХ

В статье рассчитаны и проведен анализ показателей качества обнаружения точечного объекта вне атмосферы оптико-электронным комплексом в видимом и ультрафиолетовом диапазонах работы и в различных условиях наблюдения. Рассчитана максимальная дальность действия оптико-электронного комплекса по точечным объектам с однородным и композиционным покрытием в различных условиях наблюдения.

Ключевые слова: оптико-электронный комплекс, вероятность правильного обнаружения, вероятность ложной тревоги, точечный объект.

### ВВЕДЕНИЕ

Многомерность оптических сигналов, возможность принимать и обрабатывать огромные объемы информации в реальном масштабе времени – все это делает оптико-электронные комплексы (ОЭК) наблюдения точечных объектов (ТО) наиболее заметными по степени важности среди сложных систем автоматического обнаружения и распознавания сигналов на фоне естественных и организованных помех. Часто эти задачи могут успешно решаться путем создания ОЭК работающих одновременно в нескольких спектральных диапазонах. Как известно использование двух и более спектральных диапазонов при спектральной оптической фильтрации заметно повышает эффективность работы ОЭК. При этом дополнительным преимуществом является то, что оптимальным диапазоном для обнаружения того или иного объекта может быть один, а для его идентификации – другой (другие).

Цель работы – провести оценку показателей качества обнаружения ТО ОЭК вне атмосферы при различных диапазонах работы и условиях наблюдения.

### ВОЗМОЖНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ТОЧЕЧНЫХ ОБЪЕКТОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМИ СРЕДСТВАМИ

Возможность обнаружения ТО ОЭК оценим по следующим зависимостям:

1) вероятности правильного обнаружения  $P_D$  от расстояния до ТО  $R_{ТО}$  при фиксированном значении вероятности ложной тревоги  $P_F$ , т.е. по показателям качества обнаружения (кривым обнаружения);

2) максимальной дальности действия  $R_{\max}$  (максимального расстояния до КО  $R_{ТО}$ , при котором он обнаруживается) от заданного значения вероятности правильного обнаружения  $P_D$  при фиксированном значении вероятности ложной тревоги  $P_F$ .

Очевидно, что и в том и другом случае получаемые оценки при одинаковых значениях  $R_{ТО}$ ,  $P_D$  и  $P_F$  должны совпасть.

Показатели качества обнаружения ТО ОЭК напрямую зависят от статистических характеристик полезного сигнала (напряжения с выхода пикселей матричного фотоприемника (МФП), на которые проецируется изображение цели) и помехи (флуктуаций напряжения на выходе пикселя МФП, вызванных поглощаемыми им фоновыми излучениями и его соб-

ственными шумами) [2]. Определим эти характеристики исходя из физических процессов, происходящих в пикселе.

Процесс обнаружения сигнала от ТО в пикселе МФП, на который проецируется изображение, связан с накоплением им сигнальных и шумовых фотоэлектронов. Этот процесс имеет статистический характер, обусловленный следующими причинами:

- 1) фундаментальной неопределенностью процесса фотоэлектрического взаимодействия ввиду квантового характера оптического поля;
- 2) флуктуациями интенсивности отраженного от ТО оптического сигнала.

Фундаментальная неопределенность процесса фотоэлектрического взаимодействия может быть учтена с использованием теории фотоэмиссии, позволяющей связать статистические свойства падающего оптического энергетического потока с процессом возникновения фотоэлектронов. Если интенсивность сигнала, которую в рассматриваемом случае можно охарактеризовать энергетическим потоком  $\Phi_{\text{ТО}}$ , не флуктуирует, стационарна и приблизительно постоянна на интервале наблюдения  $(t, t+t_n)$ , то справедливо выражение:

$$\int_t^{t+t_n} \Phi_{\text{ТО}}(t') dt = \bar{\Phi}_{\text{ТО}} \cdot t, \quad (1)$$

где  $\bar{\Phi}_{\text{ТО}}$  – среднее по  $t_n$  значение потока от ТО.

В формуле (1)  $\Phi_{\text{ТО}}(t')$  определяется выражением

$$\Phi_{\text{ТО}}(t') = \frac{\eta_{\text{ОЭК}}}{n_{\text{pix}}} \Phi_{\text{АТО}}(\lambda_1, \Delta\lambda),$$

где  $\Phi_{\text{АТО}}(\lambda_1, \Delta\lambda)$  – поток от ТО на входе оптической системы.

Тогда число фотоэлектронов, появляющихся в промежутке времени  $(t, t+t_n)$ , распределено по закону Пуассона:

$$P_c(n, t) = \frac{(\bar{n}_c)^n}{n!} e^{-\bar{n}_c}, \quad (2)$$

где  $\bar{n}_c$  – среднее число сигнальных фотоэлектронов, накопленных пикселем за  $t_n$ .

Флуктуации интенсивности отраженного от ТО оптического сигнала приводят к отличию распределения  $P_c(n, t_n)$  от пуассоновского. Далее будем предполагать, что сигнал – слабо-флуктуирующий, т.е. пуассоновский.

На процесс обнаружения также влияют статистические характеристики внешних (фон) и внутренних (темновой ток и тепловой шум усилителя) шумов. Наличие шумов приводит к генерации шумовых фотоэлектронов, т.е. их распределение тоже можно считать пуассоновским:

$$P_{\text{ш}}(n) = \frac{(\bar{n}_{\text{ш}})^n}{n!} e^{-\bar{n}_{\text{ш}}}, \quad (3)$$

где  $\bar{n}_{\text{ш}} = \bar{n}_{\text{ф}} + \bar{n}_{\text{Т}}$  – среднее число шумовых фотоэлектронов в виде суммы фоновых и темновых.

Для пикселя МФП вместо  $\bar{n}_{\text{Т}}$  можно использовать СКО дробового шума  $N_{\text{др}}$ .

Оптимальные операции обнаружения сигнала сводятся к вычислению коэффициента правдоподобия на выходе энергетического детектора – пикселя МФП. Предположим, что распределения  $P_c(n)$  и  $P_{\text{ш}}(n)$  являются пуассоновскими. Тогда сумма сигнала  $n_c$  и шума  $n_{\text{ш}}$  также распределена по закону Пуассона:

$$P_{\text{сш}}(n) = \frac{(\bar{n}_{\text{ш}} + \bar{n}_c)^n}{n!} e^{-(\bar{n}_{\text{ш}} + \bar{n}_c)}. \quad (4)$$

Если разбить интервал наблюдения (накопления)  $t_n$  на подынтервалы с одинаковой длительностью  $\tau_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, N$ ), то ввиду независимости генерации фотоэлектронов на отдельных подынтервалах, совместные распределения генерации шумовых и смеси сигнальных и шумовых фотоэлектронов соответственно можно представить в виде:

$$P_{\text{ш}}(n_1, n_2, \dots, n_N) = \prod_{i=1}^N \frac{(\bar{n}_{\text{ш}i})^{n_i}}{(n_i)!} e^{-\bar{n}_{\text{ш}i}} \quad (5)$$

$$P_{\text{сш}}(n_1, n_2, \dots, n_N) = \prod_{i=1}^N \frac{(\bar{n}_{\text{ш}i} + \bar{n}_{\text{с}i})^{n_i}}{(n_i)!} e^{-(\bar{n}_{\text{ш}i} + \bar{n}_{\text{с}i})} \quad (6)$$

Тогда логарифм отношения правдоподобия будет следующим:

$$\Lambda = \ln \left[ \frac{P_{\text{сш}}(n_1, n_2, \dots, n_N)}{P_{\text{ш}}(n_1, n_2, \dots, n_N)} \right] = \sum_{i=1}^N n_i \ln \left[ \frac{\bar{n}_{\text{ш}i} + \bar{n}_{\text{с}i}}{\bar{n}_{\text{ш}i}} \right] - \bar{n}_{\text{с}} \quad (7)$$

Второй член выражения (7) не зависит от числа эмитированных фотоэлектронов и является постоянным. Поэтому достаточно определить величину:

$$l = \sum_{i=1}^N n_i \ln \left[ \frac{\bar{n}_{\text{ш}i} + \bar{n}_{\text{с}i}}{\bar{n}_{\text{ш}i}} \right] \quad (8)$$

Выражение (8) определяет алгоритм работы оптимального устройства обработки на выходе энергетического детектора. Решение о наличии сигнала выдается в том случае, когда  $l > n_0$ , где  $n_0$  – постоянная величина, которая выбирается так, чтобы вероятность выполнения неравенства  $l > n_0$  при отсутствии сигнала была равна фиксированному значению вероятности ложного обнаружения.

Ввиду того, что реально с выхода пикселя считывается заряд, накопленный в течение всего времени  $t_n$ , т.е. нельзя этот интервал разбить на подынтервалы, устройство обработки на выходе пикселя МФП является подоптимальным. Алгоритм его работы отличается от оптимальной схемы тем, что в выражении (8) опускается знак суммы, т.е.  $N=1$ .

Для случая обнаружения сигнала на фоне слабого пуассоновского шума максимально допустимая вероятность ложного обнаружения (тревоги) на интервале  $(t, t+t_n)$  с учетом формулы (1), будет следующей:

$$P_F = \sum_{n=n_0+1}^{\infty} \frac{(\bar{n}_{\text{ш}})^n}{n!} e^{-\bar{n}_{\text{ш}}} = 1 - \sum_{n=0}^{n_0} \frac{(\bar{n}_{\text{ш}})^n}{n!} e^{-\bar{n}_{\text{ш}}} \quad (9)$$

Вероятность  $P_F$  можно выразить через  $\chi^2$ -распределение:

$$P(n, x) = \left[ 2^{n/2} \Gamma(n/2) \right]^{-1} \int_0^x y^{(n/2)-1} e^{-\frac{y}{2}} dy \quad (10)$$

где  $\Gamma(n/2)$  – гамма-функция;

$n$  – "степени свободы"  $\chi^2$ -распределения ( $n=1, 2, \dots$ ).

При этом формула (9) принимает вид

$$P_F = 1 - P[2\bar{n}_{\text{ш}}, 2(n_0 + 1)] \quad (11)$$

Вероятность правильного обнаружения с учетом (10) определяется как

$$P_D = \sum_{n=n_0+1}^{\infty} P_{\text{сш}}(n) = 1 - P[2(\bar{n}_{\text{ш}} + \bar{n}_{\text{с}}), 2(n_0 + 1)] \quad (12)$$

При слабых шумах справедлива приближенная формула

$$P_D \approx \sum_{n=n_0+1}^{\infty} P_c(n) = 1 - P[2\bar{n}_c, 2(n_0+1)], \text{ при } \bar{n}_u < 1. \quad (13)$$

Если сигнал сильный (десятки и сотни фотоэлектронов), то вероятность правильного обнаружения можно найти используя локальную теорему Лапласа:

$$P_D = \sum_{n=n_0+1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi(\bar{n}_u + \bar{n}_c)}} e^{-\frac{[n - (\bar{n}_u + \bar{n}_c)]^2}{2(\bar{n}_u + \bar{n}_c)}}. \quad (14)$$

## ОЦЕНКА ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ОЭК ПО ТОЧЕЧНОМУ ОБЪЕКТУ

При пассивном методе работы по точечному объекту на фоне распределенных помех (далее по тексту – "фоне") основное энергетическое уравнение ОЭК имеет вид [3]:

$$\frac{1}{n_{pix}} \Phi_{АТО}(\lambda_1, \Delta\lambda) - \Phi_{АФ}(\lambda_1, \Delta\lambda) \geq \mu \Phi_n / \eta_{ОЭК}, \quad (15)$$

где  $n_{pix}$  – количество сигнальных, т.е. "засвеченных" целью пикселей МФП;

$\Phi_{АТО}(\lambda_1, \Delta\lambda)$  – поток от ТО на входе (апертуре) ОЭК;

$\Phi_{АФ}(\lambda_1, \Delta\lambda)$  – поток от фона на входе (апертуре) ОЭК.

$\mu$  – заданный уровень превышения сигналом порогового потока  $\Phi_n$ ;

$\eta_{ОЭК}$  – обобщенный коэффициент потерь энергии в звеньях ОЭК.

Поток от ТО на апертуре может быть найден в соответствии с выражением

$$\Phi_{АТО}(\lambda_1, \Delta\lambda) = \frac{\pi d_0^2}{4} E_{АТО}(\lambda_1, \Delta\lambda) = \frac{\pi d_0^2}{4} \int_{\lambda_1}^{\lambda_1 + \Delta\lambda} E_{\lambda АТО} d\lambda, \quad (16)$$

где  $d_0$  – диаметр входного зрачка ОС ОЭК;

$E_{АТО}(\lambda_1, \Delta\lambda)$  – освещенность, создаваемая ТО на апертуре ОС в диапазоне  $\Delta\lambda$ ;

$E_{\lambda АТО}$  – спектральная плотность освещенности.

Спектральная плотность освещенности, создаваемой целью на апертуре оптической системы (ОС) ОЭК определяется выражением

$$E_{\lambda АТО} = \cos \alpha_{ТО} \cos \delta_{ТО} I_{\lambda ТО} R_{ТО}^{-2}, \quad (17)$$

где  $\alpha_{ТО}, \delta_{ТО}$  – углы между направлением на ТО и линией визирования по горизонтали и вертикали соответственно в системе координат, связанной с МФП рис.1 [3];

$I_{\lambda ТО}$  – спектральная плотность силы излучения ТО;

$R_{ТО}$  – расстояние от ОЭК до ТО.

Спектральная плотность силы излучения ТО  $I_{\lambda ТО}$  включает несколько составляющих, основными из которых являются:

– спектральная плотность переотражаемого ТО солнечного излучения

$I_{\lambda С} = I_{\lambda С}(\beta_{ХОУ}, \beta_{ХОЗ}, \gamma_{ХОУ}, \gamma_{ХОЗ}, \rho_{КОРП}, \rho_{БН})$  как функция углов соответственно подсветки Солнцем в вертикальной  $\beta_{ХОУ}$  и горизонтальной  $\beta_{ХОЗ}$  плоскостях, углов оси визирования ОЭК в вертикальной  $\gamma_{ХОУ}$  и горизонтальной  $\gamma_{ХОЗ}$  плоскостях связанной системы координат ТО, а также спектральных коэффициентов отражения материалов поверхности ТО  $\rho_{КОРП} = \rho_{КОРП}(\lambda)$  и  $\rho_{БН} = \rho_{БН}(\lambda)$ ;

– спектральная плотность переотражаемого ТО излучения освещенной части поверхности Земли  $I_{\lambda З}$ .

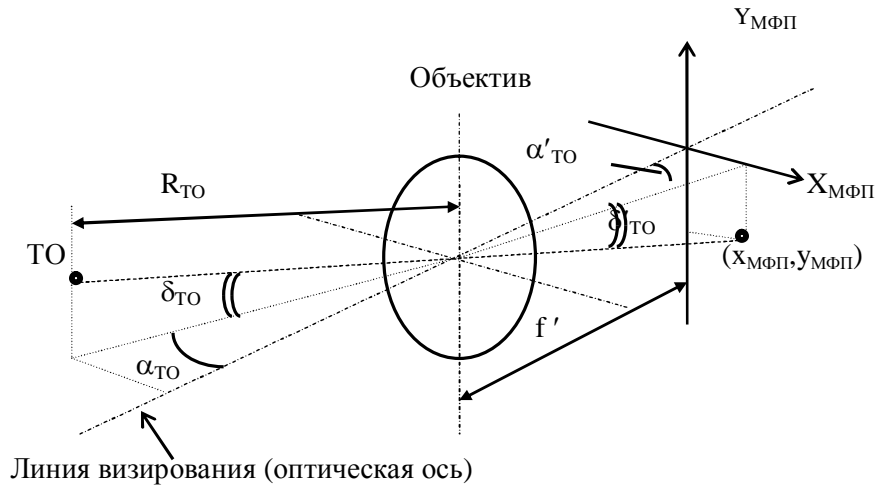


Рис.1. Схема наблюдения ТО

Результаты моделирования обстановки показали, что в дневных условиях наблюдения преобладающей является  $I_{\lambda C}$ , т.е.

$$I_{\lambda TO} \approx I_{\lambda C} \quad (18)$$

С учетом (17) выражение (16) примет вид

$$\Phi_{ATO}(\lambda_1, \Delta\lambda) = \frac{\cos\alpha_{TO} \cos\delta_{TO} \pi d_0^2}{4R_{TO}^2} I_{TO}(\lambda_1, \Delta\lambda), \quad (19)$$

где  $I_{TO}(\lambda_1, \Delta\lambda) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_1 + \Delta\lambda} I_{\lambda TO} d\lambda$  – сила излучения ТО в заданном диапазоне.

Подставляя (15) в (11) и разрешая его относительно  $R_{TO}$ , получим неравенство

$$R_{TO} \leq \sqrt{\frac{\cos\alpha_{TO} \cos\delta_{TO} \pi d_0^2 I_{TO}(\lambda_1, \Delta\lambda)}{4n_{pix} \left( \mu \frac{\Phi_n}{\eta_{ОЭК}} + \Phi_{AF}(\lambda_1, \Delta\lambda) \right)}} \quad (20)$$

Максимально возможное количество засвеченных изображением ТО пикселей  $\max(n_{pix}) = n_{\max}$  является функцией отношения радиуса изображения ТО  $d_{TO}/2$  к минимальному линейному размеру пикселя:

$$h_{\min} = \begin{cases} h_x, & \text{если } h_x \leq h_y, \\ h_y, & \text{если } h_x > h_y. \end{cases}$$

где  $h_x, h_y$  – размеры пикселя по горизонтали и вертикали соответственно, т.е.

$$n_{\max} = n_{\max} \left( \frac{d_{TO}}{2h_{\min}} \right) \quad (21)$$

Поток от фона на апертуре ОС ОЭК

$$\Phi_{AF}(\lambda_1, \Delta\lambda) = \frac{\pi d_0^2}{4f'^2} h_x h_y L_{\Phi}(\lambda_1, \Delta\lambda) = \frac{\pi d_0^2}{4} h_x h_y \int_{\lambda_1}^{\lambda_1 + \Delta\lambda} L_{\lambda\Phi} d\lambda, \quad (22)$$

где  $L_{\lambda\Phi}$  – спектральная плотность яркости фона;

$f'$  – заднее фокусное расстояние ОС ОЭК.

Обобщенный коэффициент потерь ОЭК определяется равенством

$$\eta_{\text{ОЭК}} = \Omega_{\text{вх}} \Omega_{\text{МКП}} \Omega_{\text{вых}} \Omega_{\text{МФП}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_1 + \Delta\lambda} \tau_0(\lambda) \tau_{\phi}(\lambda) \tau_{\text{вх}}(\lambda) \tau_{\text{вых}}(\lambda) d\lambda \int_{\lambda_1^*}^{\lambda_1^* + \Delta\lambda^*} \mu_{\text{ПОС}}(\lambda) d\lambda, \quad (23)$$

где  $\Omega_{\text{вх}}, \Omega_{\text{МКП}}, \Omega_{\text{вых}}, \Omega_{\text{МФП}}$  – коэффициенты заполнения соответственно входного и выходного окон электронно-оптического преобразователя (ЭОП), микро-канальной пластины (МКП) и МФП в пределах пятна от ТО.

При отсутствии ЭОП (23) принимает вид

$$\eta_{\text{ОЭК}} = \Omega_{\text{МФП}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_1 + \Delta\lambda} \tau_0(\lambda) \tau_{\phi}(\lambda) d\lambda \quad (24)$$

Пороговый поток можно найти, используя выражение

$$\Phi_{\Pi} = \frac{N_{\text{др}} h c}{t_{\text{н}} \int_{\lambda_{\text{н}}}^{\lambda_{\text{в}}} \lambda q_{\text{МФП}}(\lambda) d\lambda}, \quad (25)$$

где  $N_{\text{др}}$  – СКО дробового шума пикселя МФП в электронах;  
 $h$  – постоянная Планка;  
 $c$  – скорость света;  
 $q_{\text{МФП}}(\lambda)$  – спектральный квантовый выход пикселя МФП.

В выражении (25)

$$\lambda_{\text{н}} = \begin{cases} \lambda_1, & \text{если нет ЭОП,} \\ \lambda_1^*, & \text{если есть ЭОП.} \end{cases} \quad \lambda_{\text{в}} = \begin{cases} \lambda_1 + \Delta\lambda, & \text{если нет ЭОП,} \\ \lambda_1^* + \Delta\lambda^*, & \text{если есть ЭОП.} \end{cases}$$

Для определения заданного уровня  $\mu$  превышения сигналом порогового потока, или, другими словами, требуемого отношения сигнал-шум на выходе пикселя, воспользуемся выражениями:

$$n_0 = n_0(P_{\text{зад}}, \bar{n}_{\text{ш}}) \quad (26)$$

$$P_D(P_{\text{зад}}, \bar{n}_{\text{ш}}, \mu) = \begin{cases} \sum_{n=n_0+1}^{\infty} \frac{[\bar{n}_{\text{ш}}(\mu+1)]^n}{n!} e^{-\bar{n}_{\text{ш}}(\mu+1)} & \text{при } \bar{n}_{\text{ш}}(\mu+1) \leq 100, \\ \sum_{n=n_0+1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\bar{n}_{\text{ш}}(\mu+1)}} e^{-\frac{[n-\bar{n}_{\text{ш}}(\mu+1)]^2}{2\bar{n}_{\text{ш}}(\mu+1)}} & \text{при } \bar{n}_{\text{ш}}(\mu+1) > 100. \end{cases} \quad (27)$$

Тогда  $\mu$  можно представить в виде функции от заданных значений вероятностей правильного обнаружения  $P_{\text{Дзад}}$ , ложной тревоги  $P_{\text{фзад}}$  и среднего числа шумовых фотоэлектронов  $\bar{n}_{\text{ш}}$

$$\mu = \mu(P_{\text{Дзад}}, P_{\text{фзад}}, \bar{n}_{\text{ш}}) \quad (28)$$

Таким образом, дальность действия ОЭК можно определить на основе выражения (20):

$$R_{\text{max}} = \sqrt{\frac{\cos\alpha_{\text{ТО}} \cos\delta_{\text{ТО}} \pi d_0^2 I_{\text{ТО}}(\lambda_1, \Delta\lambda)}{4n_{\text{max}} \left( \mu \frac{\Phi_{\Pi}}{\eta_{\text{ОЭК}}} + \Phi_{\text{АФ}}(\lambda_1, \Delta\lambda) \right)}} \quad (29)$$

Полученное выражение (29) справедливо, когда сила излучения ТО  $I_{\text{ТО}}(\lambda_1, \Delta\lambda)$  не зависит от текущего расстояния  $R_{\text{ТО}}$  до него.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

### Исходные данные

1. **Объект** – одиночный с геометрическими размерами: высота  $L=2,174$  м; высота наконечника  $L_{\text{БН}}=0,4$  м; радиус основания  $R=0,4$  м; радиус закругления наконечника  $R_{\text{Н}}=8,3$  см.

2. Условия наблюдения: высота ОЭК 150 км; начальная скорость ОЭК 2000 м/с ; начальная высота ОЭК 100 км; Солнце находится в точке весеннего равноденствия (23.03.2013 г.).

3. Характеристики ОЭК (интегрального канала): вероятность правильного обнаружения  $P_{обн}=0,98$ ; диаметр входного зрачка ОС  $d_0=0,15$  м; заднее фокусное расстояние ОС  $f'=0,3$  м; спектральный квантовый выход пикселя в виде гауссианы: МФП УФ диапазона

$q_{МФП}(\lambda) = 0,4e^{-\left(\frac{\lambda-0,38}{0,1}\right)^2}$ , МФП В1 диапазона  $q_{МФП}(\lambda) = 0,4e^{-\left(\frac{\lambda-0,555}{0,1}\right)^2}$ , МФП В2 диапазона  $q_{МФП}(\lambda) = 0,4e^{-\left(\frac{\lambda-0,67}{0,1}\right)^2}$ ; количество сигнальных пикселей  $n_{pix}=4$ ; время накопления  $t_n=20$  мс; линейный размер пикселя  $h_x=h_y=24$  мкм; коэффициент потерь ОЭК  $\eta_{ОЭК}=\Omega_{МФП}\tau_o\tau_\phi=1\cdot0,8\cdot0,8=0,64$ .

С помощью модели наблюдения ТО на активном участке были рассчитаны: яркость фоновое излучения и значения силы излучения ТО, покрытого различными материалами и в заданных диапазонах длин волн. Реальные значения интегральной яркости фона получены путем моделирования для условий, определенных выше, таким же образом получены значения количества фоновых фотоэлектронов  $\bar{n}_\phi$  при  $t_n=20$  мс.

Яркость фона табл.1 сильнее всего в УФ диапазоне (0,3-0,5 мкм), так как именно в этой части спектра максимальна яркость звездной составляющей фона, которая превалирует над другими составляющими при указанных выше условиях наблюдения. Однако количество фоновых фотоэлектронов столь незначительно по сравнению с собственными шумами МФП (в лучшем случае ~10 фотоэлектронов), что в дальнейших расчетах фоном можно пренебречь.

Таблица 1

**Интегральная яркость фона  $L_\phi$ , Вт/ср·м<sup>2</sup> в различных диапазонах по результатам моделирования**

Параметры	$\Delta\lambda$ , мкм		
	0,35-3,5	3,45-3,65	5,6-10,0
$L_\phi$	$1,3\cdot10^{-6}$	$3,3\cdot10^{-6}$	$3,7\cdot10^{-7}$
$\bar{n}_\phi$	0,55	0,24	0,14

При моделировании излучения ТО были рассмотрены различные случаи:

1) сила излучения цели слабо меняется (только за счет изменения углов подсвета и наблюдения) по мере сокращения расстояния между ТО и ОЭК;

2) если ТО покрыт однородным материалом, в заданных выше диапазонах длин волн принимаемого излучения разброс значений  $I_{ТО}$  от среднего значения не превышает 1,2 % для  $\Delta\lambda=0,3\div0,5$  мкм и 0,9 % для  $\Delta\lambda=0,45\div0,65$  мкм;

3) если ТО покрыт разными материалами, то разброс значений  $I_{ТО}$  увеличивается из-за разности спектральных коэффициентов отражения, но не превышает 2,5 %. То есть можно считать, что  $I_{ТО}$  не зависит от текущего расстояния  $R_{ТО}$  до ТО и максимальную дальность правомерно оценивать с использованием формулы (29).

На основе данных табл. 1 с использованием выражения (9) рассчитаны зависимости вероятности ложной тревоги  $P_F$  от количества шумовых фотоэлектронов  $\bar{n}_ш = \bar{n}_\phi + \bar{n}_T = \bar{n}_\phi + N_{др}$  в различных диапазонах длин волн принимаемого излучения  $\Delta\lambda$  и порога  $n_0$ . Используемые в дальнейших расчетах значения порога  $n_0$  приведены в табл. 2.

Таблица 2

Требуемый порог  $n_0$  для достижения заданной вероятности ложной тревоги  $P_F$ 

$P_F$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$
$n_0$ при $N_{др} = 10$	24	26	28	30	32
$n_0$ при $N_{др} = 50$	79	83	87	91	94

Результаты расчетов  $R_{max}$  при различных  $t_n$ ,  $P_{обн} = 0,9$ ,  $P_{лт} = 10^{-4}$  и  $N_{др}=10$ , приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Максимальная дальность  $R_{max}$  обнаружения ТО, покрытого однородным материалом, композицией материалов и подсвечиваемого Солнцем, в зависимости от диапазона  $\Delta\lambda$  длин волн принимаемого излучения, вероятности ложной тревоги  $P_{лт}$  и СКО дробового шума  $N_{др}$  пикселя МФП**

Параметры			$\Delta\lambda$ , мкм		
			0,3-0,5	0,45-0,65	0,6-0,8
Однородное покрытие					
$\rho_{КОРП}=\rho_{БН}$			0,069	0,09	0,07
$R_{\max}$ , км	$P_{ЛТ}=10^{-4}$	$N_{др}=10$	597	916	783
		$N_{др}=50$	474	684	584
		$N_{др}=100$	391	598	510
	$P_{ЛТ}=10^{-6}$	$N_{др}=10$	552	846	723
		$N_{др}=50$	409	625	533
		$N_{др}=100$	360	550	470
	$P_{ЛТ}=10^{-8}$	$N_{др}=10$	516	791	675
		$N_{др}=50$	385	588	502
		$N_{др}=100$	342	522	445
Композиционное покрытие					
$\rho_{КОРП}$			0,072	0.11	0,28
$\rho_{БН}$			0,113	0.13	0,13
$R_{\max}$ , км	$P_{ЛТ}=10^{-4}$	$N_{др}=10$	613	1019	1498
		$N_{др}=50$	459	761	1119
		$N_{др}=100$	401	665	977
	$P_{ЛТ}=10^{-6}$	$N_{др}=10$	566	941	1384
		$N_{др}=50$	419	695	1021
		$N_{др}=100$	369	612	899
	$P_{ЛТ}=10^{-8}$	$N_{др}=10$	530	880	1293
		$N_{др}=50$	395	654	961
		$N_{др}=100$	350	581	853

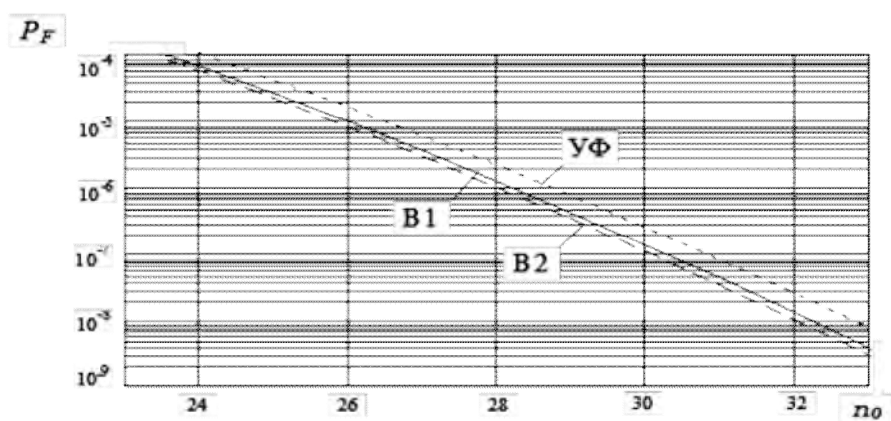
Кривые вероятности ложной тревоги для различных значений порога, рассчитанные по формуле (9) и (11) с учетом данных из табл. 3, представлены на рис. 2,а и 2,б.

Кривые вероятности правильного обнаружения ТО для различных значений  $P_F$  для ТО, покрытого однородным материалом и композицией материалов, рассчитанные по формуле (12) и (14) с учетом данных из табл. 3, представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

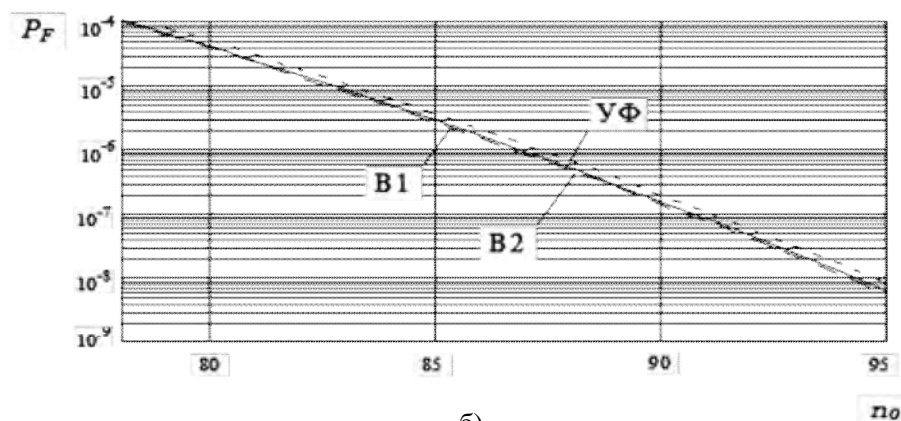
Таблица 4

Максимальная дальность  $R_{\max}$  обнаружения ТО (км) в ночных условиях (находящегося в тени Земли) в зависимости от времени накопления  $t_n$  и диапазона длин волн принимаемого излучения  $\Delta\lambda$ .

$t_n, c$	$\Delta\lambda, \text{мкм}$		
	0,38-0,5	0,45-0,65	0,6-0,78
0,02	161	180	110
0,05	218	240	148
0,1	261	283	190



а)



б)

Рис.2. Зависимость вероятности ложной тревоги от диапазона  $\Delta\lambda$  длин волн принимаемого излучения и порога  $n_0$  при количестве шумовых фотозлектронов  $N_{\text{др}}=10$  (а) и  $N_{\text{др}}=50$  (б)

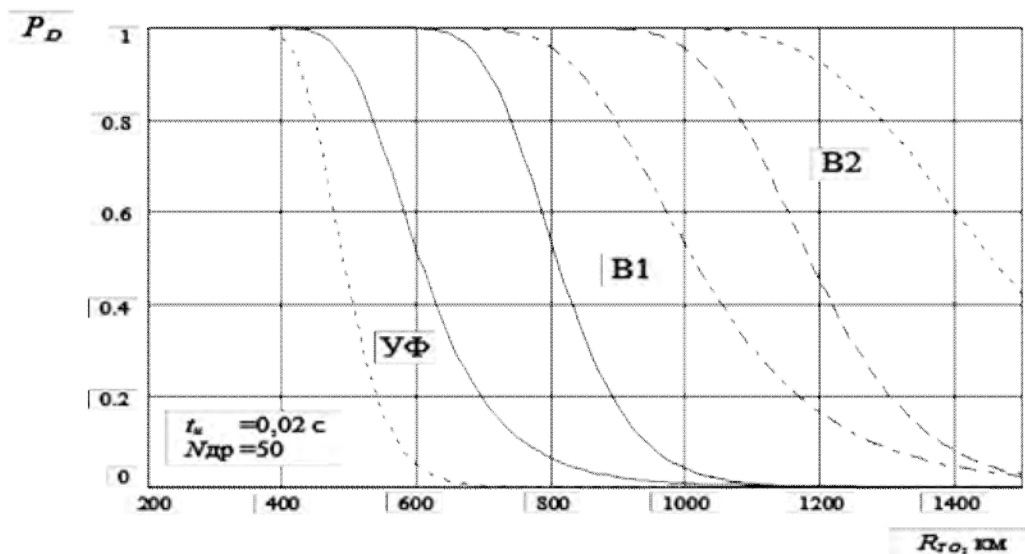


Рис.3. Кривые обнаружения ТО, покрытого однородным материалом и подсвечиваемого Солнцем, в зависимости от расстояния до него при пуассоновском (биномиальном) сигнале и шуме

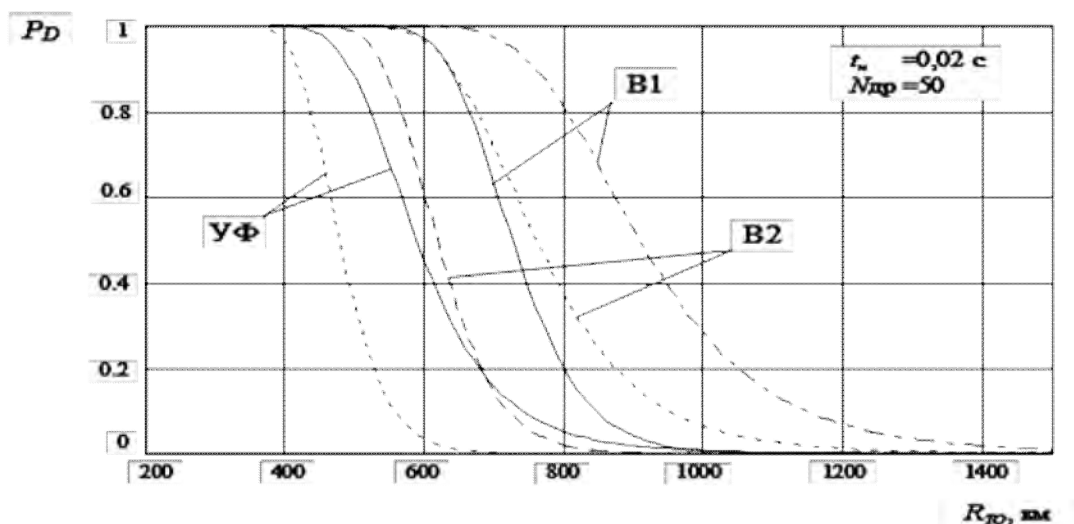


Рис.4. Кривые обнаружения ТО, покрытого композицией материалов и подсвечиваемого Солнцем, в зависимости от расстояния до него при пуассоновском (биномиальном) сигнале и шуме

Анализируя рис. 3 и рис. 4, можно сделать вывод, что обнаружительные характеристики для ТО, покрытого композицией материалов, выше, чем для ТО, покрытого однородным материалом. Это обусловлено тем, что образцы, покрытые композицией материалов, имеют более высокий коэффициент отражения, чем покрытые однородным материалом в выбранных диапазонах длин волн принимаемого излучения. Причем образец, покрытый однородным материалом, характеризуется высоким коэффициентом отражения в диапазоне В2, что отразилось на перемещении кривых обнаружения в этом диапазоне для цели, покрытой композицией материалов, за кривые диапазона В1 (рис. 4).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. При наблюдении ТО в наиболее благоприятных условиях, т.е. при подсветке Солнцем (рис. 3 и 4), ОЭК способен обнаружить ТО на расстоянии свыше 400 км с вероятностью правильного обнаружения  $P_{\text{обн}} \geq 0,98$  и ложной тревоги  $P_{\text{лт}} = 10^{-8}$  как в ультрафиолетовом, так и в видимом диапазонах. При этом лучшие показатели (из трех рассматриваемых диапазонов и соответствующих им МФП) достигаются:

- при обнаружении ТО, покрытого однородным материалом, в диапазоне 0,45-0,65 мкм для МФП, имеющего максимум спектральной характеристики на длине волны 0,555 мкм;
- при обнаружении ТО, покрытого композицией материалов, в диапазоне 0,6-0,8 мкм для МФП, имеющего максимум спектральной характеристики на длине волны 0,67 мкм.

2. Обнаружительные характеристики, обеспечиваемые МФП видимого диапазона при наблюдении ТО, подсвечиваемого Солнцем, имеют значительный "запас" максимальной дальности обнаружения, что позволяет использовать многоканальное (многоспектральное) обнаружение и распознавание.

3. При наблюдении ТО, находящегося в тени Земли, т.е. в наиболее неблагоприятных условиях, ОЭК не обеспечивает приемлемых обнаружительных характеристик ни в видимом, ни в ультрафиолетовом диапазонах. Увеличить максимальную дальность действия ОЭК  $R_{\text{max}}$  возможно повышением времени накопления либо расширением диапазона длин волн принимаемого излучения, что делает неприемлемым использование многоканальности.

## Список используемых источников

1. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Сов. радио, 1974. – 432 с.
2. Богданчук В.З., Виленчик Л.С. Методы оптимальной обработки информации в информационно-измерительных системах. – М.: Радио и связь, 1991. – 127 с.
3. Чернявский Г.М., Чернов А.А. Лазерные системы в космосе (информационная технология). – М.: Радио и связь, 1995. – 223 с.
4. Анпазов Р.Ф., Лавров С.С., Мишин В.П. Баллистика управляемых ракет дальнего действия. – М.: Наука, 1966. – 307 с.
5. Шебшаевич В.С. Введение в теорию космической навигации. М.: Сов. радио, 1971. – 295 с.
6. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Физматгиз, 1963. – 870 с.
7. Бакут П.А., Жулина Ю.В., Иванчук Н.А. Обнаружение движущихся объектов. – М.: Сов. радио, 1980. – 288 с.

С.А. Карин,  
кандидат воен. наук;  
В.В. Лобовко

## ИННОВАЦИОННАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

В статье перечислены предпосылки к созданию специализированных приложений для обработки пространственных данных на основе интегрированных сетевых геоинформационных систем. Рассматриваются необходимые условия коллективной обработки пространственных данных, а также основные свойства таких данных. Приводятся требования к интегрированным сетевым геоинформационным системам. Дано описание разработанной специалистами ВКА имени А.Ф.Можайского интегрированной географической распределенной информационной системы, описываются ее основные характеристики и архитектура как перспективной инновационной платформы для создания специализированных приложений обработки пространственных данных. Характеризуются ее основные функциональные возможности.

Ключевые слова: специализированные ГИС-приложения, геоинформационные системы, геопространственные данные, единая модель данных, распределенная сетевая ГИС.

### ВВЕДЕНИЕ

Большое значение в технологиях хранения и представления информации для её эффективной обработки и анализа приобрели форматы пространственных данных – данных, организованных по географическому принципу, позволяющие комплексно сопоставить информацию различного происхождения и наглядно отобразить результаты её обработки.

Особенно эффективны системы обработки геопространственной информации, получившие название геоинформационных систем (ГИС).

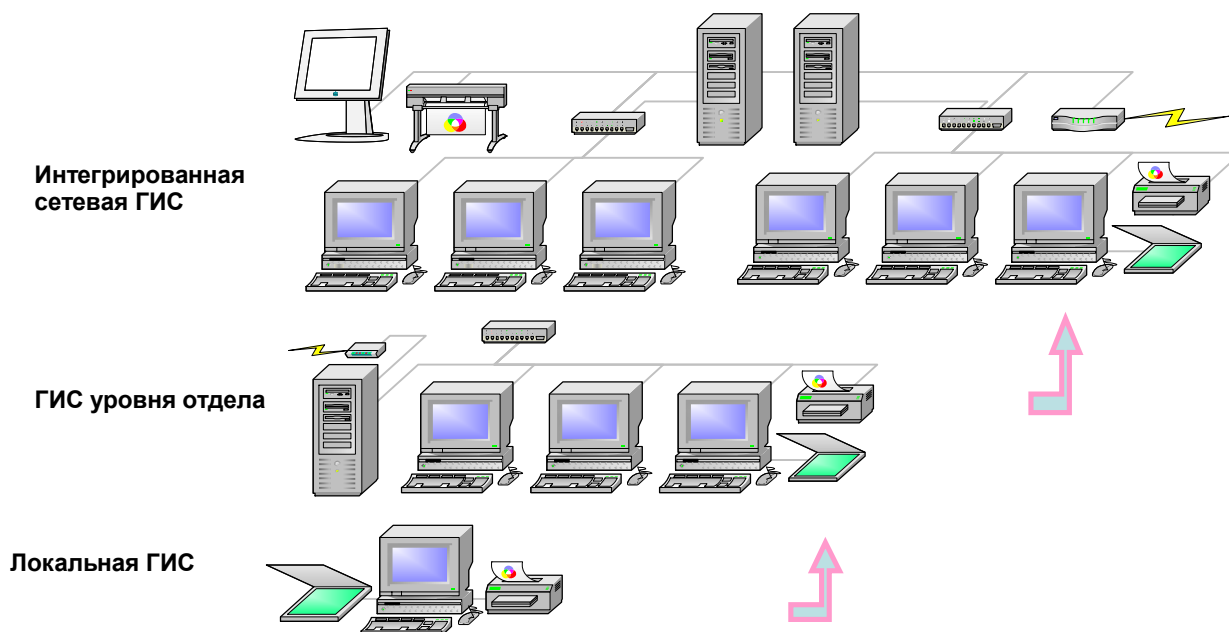


Рис. 1. Поэтапное развитие ГИС

Эволюцию геоинформационных систем можно проследить как путь от персональных настольных систем к системам уровня отдела, объединяющих несколько компьютеров в локальной сети с файл-сервером, и далее к корпоративным интегрированным системам с распределенными базами данных, функционирующими под управлением СУБД и распределенной обработкой и хранением данных (рис. 1).

Вместе с тем, внедрение в практику даже не слишком сложных ГИС требует достаточно серьезной подготовки и опыта работы конкретного пользователя. Это создает определенный барьер для понимания ГИС по сравнению с другими информационными технологиями и сдерживает в целом подготовку геопространственных данных и распространение ГИС в различных предметных областях.

В результате возникает необходимость в создании специализированных прикладных ГИС, ориентированных на решение конкретных задач и способных получать и обрабатывать только ту информацию, которая необходима пользователю.

### **ТРЕБОВАНИЯ К ИНТЕГРИРОВАННЫМ СЕТЕВЫМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ**

По сути дела задача разработки специализированных приложений для обработки геопространственных данных аналогична использованию систем управления базами данных (СУБД) для работы с спроектированными и созданными базами данных конкретной предметной области, с которыми работает специалист-пользователь данного программного обеспечения.

Заметим, что для организации коллективной обработки пространственных данных, необходимо выполнение следующих условий.

Во-первых, вся обрабатываемая информация должна находиться в едином информационном пространстве под управлением объектно-реляционной СУБД [1–3];

Во-вторых, специализированные ГИС должны «понимать» друг друга на уровне структур информации в базах данных, спецификаций инструментария обработки данных, а также словарей и классификаторов пространственных объектов [4].

Для выполнения этих условий при создании прикладных ГИС необходимо использование единой модели данных, единых средств хранения и обработки геопространственной информации и средств программирования приложений обработки геопространственной информации.

С другой стороны, сама информация, обрабатываемая в специализированных ГИС, обладает следующими свойствами [5]:

- 1) значительная ее часть (до 80 и более процентов) имеет пространственную и временную привязку (т.е. является геопространственной);
- 2) объемы информации, которую необходимо обработать, сохранить и предоставить потребителю, в настоящее время достигают размеров в десятки и сотни терабайт и продолжают возрастать;
- 3) обрабатываемые информационные ресурсы, а также участники информационного взаимодействия (пользователи) характеризуются территориальной распределенностью;
- 4) обрабатываемые информационные ресурсы характеризуются значительной гетерогенностью (разнородностью);
- 5) все чаще требуется гарантированное доведение информационных ресурсов до потребителей, в том числе при «нестабильных» каналах связи
- 6) современные программные средства обработки геопространственных данных характеризуются необходимостью в постоянном мониторинге их функционирования, а также постоянного масштабирования.

Таким образом, вышеперечисленные условия создают предпосылки для появления ряда важнейших требований к интегрированным сетевым геоинформационным системам [6]:

- 1) обеспечение функционирования в едином информационном пространстве и в единой понятийной среде;
- 2) предоставление должностным лицам технологических средств настройки под возникающие информационные задачи;
- 3) предоставление должностным лицам единой технологической базы для решения информационных задач;
- 4) обеспечение территориальной распределенности процессов обработки геопространственных данных;
- 5) наличие средств постоянного оперативного мониторинга функционирования системы;
- 6) наличие инструментальных средств масштабирования системы:
  - с точки зрения возможности обработки увеличивающихся объемов информации;
  - с точки зрения увеличения числа пользователей системы;
  - с точки зрения увеличения производительности аппаратной части системы;
- 7) Наличие инструментальных средств гарантированного доведения и обработки информации, в том числе при «нестабильных» каналах связи.

### **ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПРЕДЛАГАЕМОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СЕТЕВОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

С целью реализации перечисленных требований специалистами ВКА имени А.Ф.Можайского разработана интегрированная географическая распределенная информационная система (DynamicGIS), обладающая следующими свойствами:

- 1) клиент-серверная архитектура, обеспечивающая полноценный многопользовательский режим работы с возможностью распределенной обработки данных;
- 2) использование единого хранилища географической, топологической и семантической информации на базе объектно-распределенной СУБД;
- 3) возможность создания и поддержания единой информационной модели данных;
- 4) кроссплатформенность, т.е. функционирование в среде операционных систем класса Linux и Windows (2000 и выше);
- 5) архитектура реляционной базы данных с SQL, СУБД PostgreSQL 9.2;
- 6) коммуникационные стандарты, такие как Ethernet, TCP/IP;
- 7) возможность использования перспективных технологий и современных стандартов хранения и обмена геоданными: ООП, XML/XSLT, J2EE, CORBA, GML и др.;
- 8) возможность реализации специализированных ГИС в различных операционных системах (Linux на ядре 2.4.x, Windows) и соответствующих вычислительных платформах;
- 9) возможность применения сертифицированных средств защиты информации;
- 10) интегрируемость и переносимость на другие платформы (ОС и СУБД);
- 11) возможность создания приложений, ориентированных для решения конкретных задач;
- 12) открытая архитектура;
- 13) наличие исходных текстов.

Основные компоненты разработанной системы включают в свой состав (рис. 2):

- 1) базу геопространственных данных;
- 2) системную библиотеку серверных функций.;
- 3) библиотеку классов для работы с векторными объектами и примитивами;
- 4) библиотеку классов для работы с картографическими проекциями;
- 5) библиотеку классов для работы с фотограмметрическими преобразованиями;
- 6) библиотеку классов для работы с растровыми форматами;
- 7) библиотеку классов для конвертирования форматов ГИС.

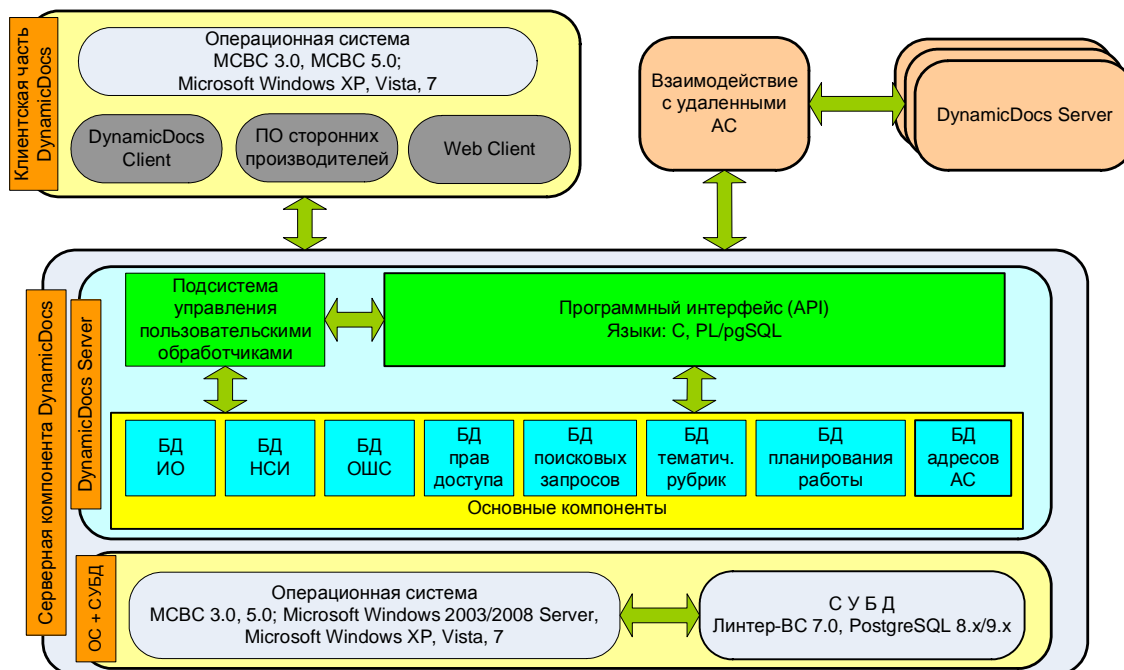


Рис. 2. Программная архитектура DynamicGIS

В изображенной конфигурации решение задачи создания специализированной прикладной ГИС в среде DynamicGIS можно представить как разработку некоторого числа дополнительных компонентов (рис. 3):

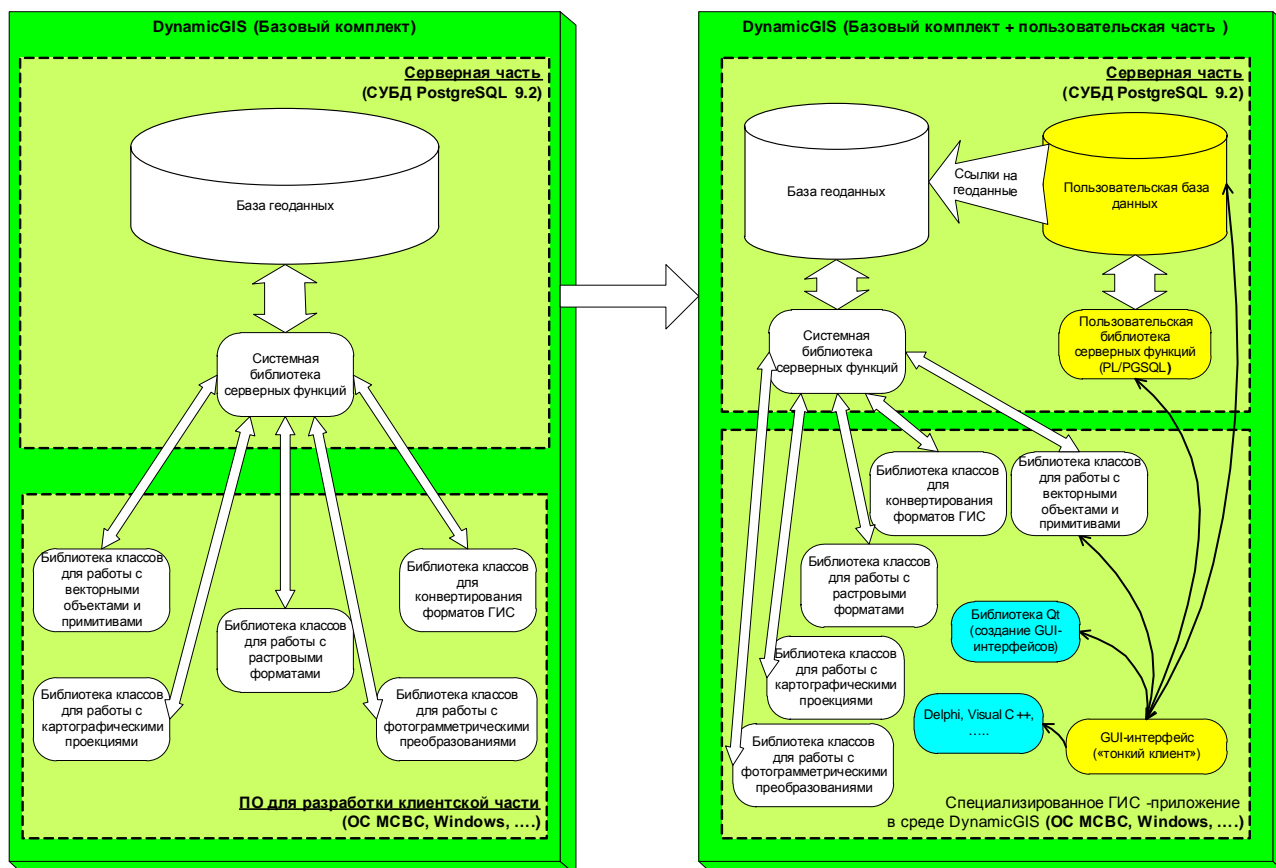


Рис. 3. Разработка специализированных ГИС-приложений в среде DynamicGIS

Важнейшими среди этих компонентов являются:

- 1) пользовательская база данных, дополняющая базу геоданных;
- 2) пользовательская библиотека серверных функций (PL/PGSQL), дополняющая системную серверную библиотеку;
- 3) GUI-интерфейс («тонкий клиент»).

Обязательным здесь является наличие только GUI-интерфейса, первые два компонента могут отсутствовать.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРЕДЛАГАЕМОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СЕТЕВОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Интегрированная сетевая геоинформационная система DynamicGIS основана на функциональных возможностях программного комплекса DynamicDocs, разработанного коллективом специалистов под руководством авторов данной статьи [7–9], при этом поддерживается создание информационных ресурсов, содержащих пространственные атрибуты следующих типов:

- 1) «ГИС-объект (карта)»;
- 2) «Координаты».

При создании (редактировании) информационных ресурсов, содержащих атрибуты типа «ГИС-объект (карта)», в редакторе информационного ресурса появляется новая вкладка «Карта», которая содержит окно с картой, а также инструментальные средства для управления ею (рис. 4). Набор доступных инструментальных средств позволяет выполнять весь спектр типовых операций с пространственными данными. Кроме того, появляется инструмент обращения к метаданным выделенного информационного ресурса.

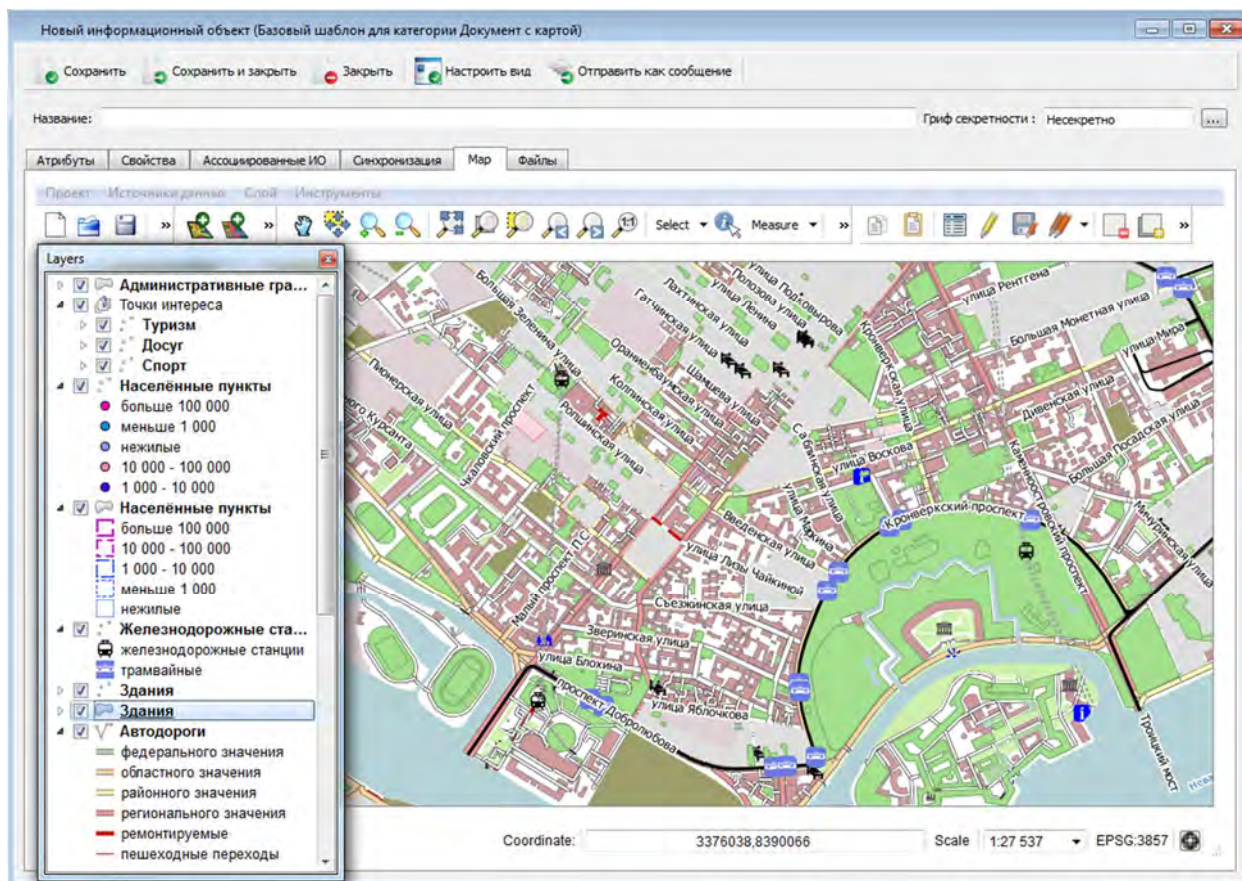


Рис. 4. Пример редактора информационного ресурса с вкладкой "Карта"

При работе с пространственными атрибутами необходимо учитывать следующие ограничения:

- 1) информационный ресурс может содержать не более одного атрибута типа «ГИС-объект (карта)»;
- 2) информационный ресурс может содержать не более одного атрибута типа «Координаты»;
- 3) не допускается одновременное присутствие в информационном ресурсе атрибутов типа «ГИС-объект (карта)» и «Координаты»;
- 4) не допускается одновременное открытие в редакторе информационных ресурсов, содержащих атрибут типа «ГИС-объект (карта)». При попытке этого будет выдана специальная ошибка.

Значением атрибутов типа «ГИС-объект (карта)» является XML-описание характеристик набора отображаемых на карте ГИС-слоев. В состав описываемых характеристик входят:

- 1) система координат (проекция), в которой заданы координаты объектов слоя;
- 2) границы масштабов, в которых должны отображаться на карте объекты слоя;
- 3) фильтры (условия выборки), применяемые для источника данных слоя (файла, базы данных и т.п.);
- 4) описание условного знака (набора условных знаков), при помощи которого отображаются объекты слоя и т.п.

В качестве слоев могут выступать:

- 1) векторные слои, хранящиеся в файлах различных поддерживаемых стандартов;
- 2) растровые слои, хранящиеся в файлах различных поддерживаемых форматов;
- 3) векторные слои, хранящиеся в пространственных базах данных в формате PostGIS (т.е. поддерживающие спецификацию Open Geospatial Consortium «Simple Features for SQL»);
- 4) векторные слои, хранящиеся в базе данных DynamicDocs Server и представленные информационным ресурсом типа справочник, который содержит атрибут «Координаты». В этом случае каждая запись такого справочника представляет собой пространственный объект, при этом значение атрибута «Координаты» описывает пространственную компоненту объекта (собственно, его координаты в некоторой системе координат).

При создании (сохранении) информационного ресурса слои, хранящиеся в файлах, копируются в файловое хранилище DynamicDocs Server. В дальнейшем, при открытии сохраненного информационного ресурса, файлы со слоями копируются в файловую систему клиента в специальный настраиваемый каталог и уже после этого визуализируются на вкладке «Карта» в редакторе информационного ресурса.

Слои, хранящиеся в пространственных базах данных в формате PostGIS, не копируются в БД DynamicDocs Server. Поэтому для их корректного отображения необходимо, чтобы требуемая пространственная база данных была доступна по протоколу TCP/IP из среды хоста, на котором запущено приложение DynamicGIS.

Для визуализации ГИС-слоев в среде приложения DynamicGIS используются возможности базовой геоинформационной системы «QGIS» версии 2.4. Данная ГИС предполагает, что источники данных для ГИС-слоев (векторных, растровых, слоев из пространственных баз данных) описываются при помощи специальных подключаемых модулей (плагинов). Соответственно, если приложение DynamicGIS не сможет загрузить эти подключаемые модули, то работа с пространственными данными будет недоступна.

QGIS позволяет использовать большое количество распространенных ГИС-функций, обеспечиваемых встроенными инструментами и модулями. Доступные модули обеспечивают функциональные возможности, которые можно разделить на шесть категорий:

- 1) просмотр данных;
- 2) исследование данных и создание карт;

- 3) управление данными (создание, редактирование и экспорт);
- 4) анализ данных;
- 5) публикация карт в сети Интернет;
- 6) расширение функциональности с помощью модулей расширения.

QGIS позволяет просматривать и накладывать друг на друга векторные и растровые данные в различных форматах и проекциях без преобразования во внутренний или общий формат, кроме того, поддерживается большое число растровых и векторных форматов, среди которых можно выделить такие как:

- 1) пространственные таблицы и представления PostGIS, SpatiaLite, MSSQL Spatial и OracleSpatial;
- 2) векторные форматы, включая shape-файлы ESRI, MapInfo, SDTS (Spatial Data Transfer Standard), GML (Geography Markup Language);
- 3) форматы растров и графики: GeoTIFF, Erdas IMG, ArcInfo ASCII Grid, JPEG, PNG;
- 4) пространственные данные, публикуемые в сети Интернет с помощью OGC-совместимых сервисов (WMS, WMTS, WCS, WFS, WFS-T);
- 5) данные OpenStreetMap (OSM).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно утверждать, что впервые в отечественной практике в среде ОС Linux создана интегрированная система разработки прикладных ГИС, реализующая клиент-серверную распределенную технологию обработки следующей геопространственной информации:

- электронных цифровых векторных карт;
- электронных цифровых растровых карт;
- аэрокосмических снимков;
- отдельных объектов (информационных ресурсов), имеющих пространственную компоненту.

Наличие единого банка геоданных в интегрированной географической распределенной информационной системе DynamicGIS позволяет унифицировать процессы сбора, обработки и хранения различной специальной геопространственной информации. Возможность введения в единый банк геоданных информационных моделей различных предметных областей позволяет создавать на базе DynamicGIS большие распределенные системы, способные образовывать единое информационное пространство ВС РФ. Свойства DynamicGIS как открытой системы с одной стороны, и наличие в ней инструментальных средств создания специализированных ГИС-приложений, с другой стороны, позволяет получить единые стандарты работы с геопространственной информацией, согласованные с ГИС «Интеграция» и значительно повысить производительность при разработке специального программного обеспечения. Кроме того, архитектура построения DynamicGIS делает возможным применения существующих и перспективных сертифицируемых в МО РФ средств защиты информации.

## Список литературы

1. Карин С.А., Дудин Е.А., Лобовко В.В. Формирование единого технологического цикла обработки данных дистанционного зондирования Земли на основе распределенного банка разнородных геоданных // Актуальные вопросы испытаний систем оружия: сборник трудов ВНТК. – М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 2013. – С. 439–444
2. Карин С.А. Интеграция в едином информационном пространстве разнородных геопространственных данных // Информационно-управляющие системы. – 2012. – №2. – С. 89–94.

3. *Карин С.А.* Построение предметно-ориентированной онтологии в системах обработки пространственных данных // Информационно-управляющие системы. – 2014. – №4. – С. 78–84.

4. *Карин С.А.* Опыт разработки распределенного банка разнородных геопространственных данных на основе унифицированной интеграционной платформы // Сборник докладов научно-практического семинара «Перспективные методы, технологии и средства формирования и применения геопространственных данных» (4–5 октября 2012 года, НИЦ (г.Курск) 18 ЦНИИ МО РФ), г.Курск, 2012. – С. 73–79.

5. *Карин С.А.* Опыт создания единого информационного пространства на основе распределенного банка разнородных геоданных // Сборник докладов V Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий» 5–7 июня 2012 г., г. Москва. – С. 73–82.

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

7. Программная платформа поддержки создания и обеспечения функционирования прикладного программного и лингвистического обеспечения типовых территориально-распределенных защищенных автоматизированных систем сбора и обработки разнородной информации (DynamicDocs). С.А. Карин, В.Н. Голубин, С.А. Шаров, Ю.Л. Русинов. – РОСПАТЕНТ. – Свидетельство №2012614987 от 04.06.2012.

8. *Карин С.А.* Программный комплекс динамической рубрикации информационных ресурсов в типовых территориально-распределенных защищенных автоматизированных системах сбора и обработки разнородной информации (DynamicRubrics). – РОСПАТЕНТ. – Свидетельство №2013660371 от 31.10.2013.

9. *Карин С.А.* Программный комплекс обработки геопространственных данных в типовых территориально-распределенных защищенных автоматизированных системах сбора и обработки разнородной информации (DynamicGIS). – РОСПАТЕНТ. – Свидетельство №2014618310 от 14.08.2014.

Р.В. Катюха;  
А.Н. Кадолин;  
П.П. Панфёров

## АЛГОРИТМ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА БАЗЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ

Предложен способ для многопараметрической идентификации технического состояния с использованием нечетких логических уравнений, которые строятся на базе матрицы знаний и системы логических высказываний. Они позволяют вычислить значения функций принадлежности различных результатов идентификации при фиксированных значениях телеметрических параметров.

Ключевые слова: нечеткая логика, идентификация, телеметрические параметры, космические аппараты.

### ВВЕДЕНИЕ

В практических задачах идентификации наиболее широкое применение нашли методы параметрической идентификации. Для их применения необходимо иметь в качестве априорной информации уравнения модели объекта, в которых могут быть неизвестны только некоторые параметры. В зависимости от критерия идентификации или алгоритма, применяемого для вычисления неизвестных параметров, эти методы получили различные названия: метод максимального правдоподобия, метод байесовских оценок, метод фильтра Калмана, метод наименьших квадратов, метод осредненных невязок, метод стохастической аппроксимации [1].

Трудность применения данных методов [2] состоит в следующем:

1. Модель объекта «входы-выход», как правило, не имеет явной интерпретации.
2. Отсутствует прямая возможность работы с переменными «входы-выход», которые имеют качественную природу.
3. Отсутствует прямая возможность использования информации о структуре объекта в виде словесных высказываний «ЕСЛИ–ТО», полученных на основе опыта человека.

### ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Таким образом, современная теория идентификации, которая базируется на моделировании динамических объектов уравнениями, плохо приспособлена для использования экспертных знаний.

Предлагается задачу построения системы идентификации осуществлять методом структурной идентификации. Такая идентификация является традиционной для технологии нечетких экспертных систем. Здесь осуществляется грубая настройка модели технического состояния космических аппаратов путем построения нечёткой базы знаний (НБЗ) по доступной экспертной информации, при этом аппроксимируемая связь такой модели определяется качеством функции принадлежности (ФП), с помощью которых лингвистические оценки переходят в количественную форму. В связи с тем, что ФП определяются экспертным путем, адекватность НБЗ целиком будет зависеть от квалификации экспертов.

Результат идентификации можно представить в виде выражения:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

В формуле (1) введены обозначения  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – набор значений телеметрических параметров (ТПП);  $y$  – результат идентификации.

Области изменения ТМП  $x_i \in [\underline{x}, \overline{x}]$ ,  $i = \overline{1, n}$  и выходного значения результата идентификации  $y \in [\underline{y}, \overline{y}]$  считаются известными. Здесь  $\underline{x}_i(\overline{x}_i)$  – нижнее (верхнее) значение ТМП  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $\underline{y}(\overline{y})$  – нижнее (верхнее) значение результата идентификации  $y$ .

Пусть  $X^\bullet = (x_1^\bullet, x_2^\bullet, \dots, x_n^\bullet)$  – вектор фиксированных значений ТМП, где  $x_i^\bullet \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Задача принятия решения состоит в том, чтобы на основе информации о векторе  $X^\bullet$  определить результат идентификации  $y^\bullet \in Y$ . Необходимым условием формального решения этой задачи является наличие зависимости (1). Для установления такой зависимости необходимо рассматривать ТМП и выходные переменные как линейные преобразования (ЛП), заданные на универсальных множествах [4]:

$$X_i = [\underline{x}_i, \overline{x}_i], Y = [\underline{y}, \overline{y}]. \quad (2)$$

Для оценки таких ЛП предлагается использовать качественные термы.

Лингвистические термы  $a_i^p \in A_i$  и  $d_j \in D$ ,  $p = \overline{1, k_i}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$  необходимо рассматривать как нечеткие множества, заданные на универсальных множествах  $X_i, Y$  (2).

Нечеткие множества  $a_i^p$  и  $d_j$  определяются соотношениями [4]:

$$a_i^p = \int_{x_i}^{\overline{x}_i} \mu^{a_i^p}(x_i) / x_i, \quad (3)$$

$$d_j = \int_d^{\overline{d}} \mu^{d_j}(d) / d. \quad (4)$$

Рассмотрим модель идентификации технического состояния космических аппаратов с помощью НБЗ.

Пусть являются известными: множество решений  $D = \{d_1\}$ , ( $j = \overline{1, m}$ ), соответствующих выходной оценке  $y$ ; множество входных ТМП  $X = \{x_1\}$ , ( $i = \overline{1, n}$ ); диапазоны количественного изменения каждого ТМП  $x_1 \in [\underline{x}_1, \overline{x}_1]$ ,  $i = \overline{1, n}$ ; ФП, позволяющие представить ТМП  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  в виде нечетких множеств (3), (4) и полученные по методике, изложенной в работе [9]; матрица знаний, определенная по правилам, введенным в работе [5].

Требуется разработать алгоритм принятия решения, позволяющий поставить в соответствие фиксированному вектору входных параметров  $X^\bullet = (x_1^\bullet, x_2^\bullet, \dots, x_n^\bullet)$ ,  $x_i^\bullet \in [\underline{x}_1, \overline{x}_1]$  решение  $y^\bullet \in D$ .

Графическое представление задачи идентификации показано на рис.1.

В общем случае входные переменные  $x_1, x_2, \dots, x_n$  могут задаваться числом, лингвистическим термом и по принципу термометра [6].

Идея предлагаемого метода для решения такой задачи состоит в использовании нечетких логических уравнений.

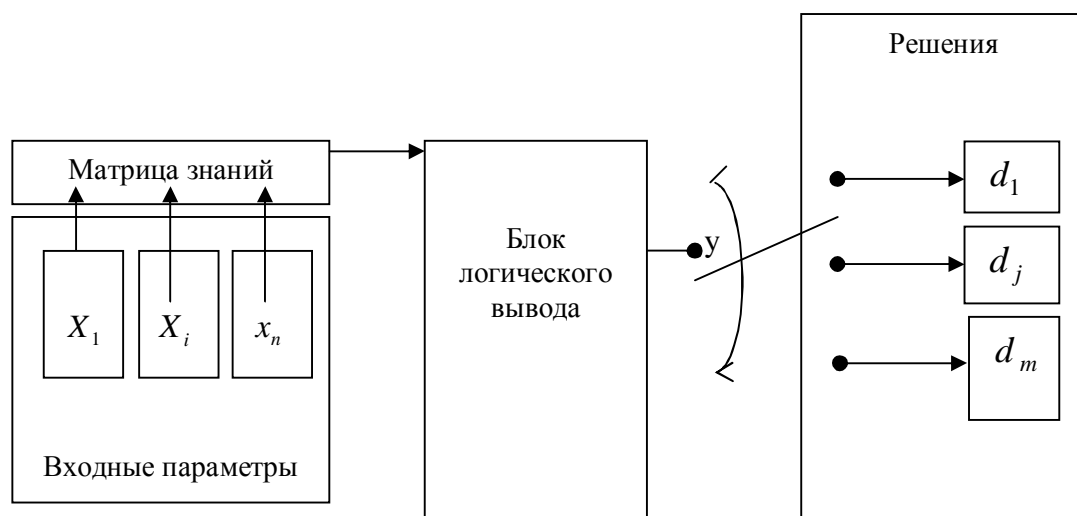


Рис.1. Задача идентификации сбоев аппаратуры на борту КА

Связь между этими функциями определяется НБЗ и может быть представлена в виде следующих логических уравнений:

$$\begin{aligned} \mu^{d_1}(x_1, x_2, \dots, x_n) = & \mu^{a_{11}}(x_1) \wedge \mu^{a_{12}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_{1n}}(x_n) \wedge \mu^{a_{21}}(x_1) \wedge \mu^{a_{22}}(x_2) \wedge \dots \\ & \dots \wedge \mu^{a_{jn}}(x_n) \vee \dots \vee \mu^{a_{pj}}(x_1) \wedge \mu^{a_{p2}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_{pn}}(x_n), j = \overline{1, m}. \end{aligned} \quad (5)$$

Эти уравнения получены из НБЗ путем замены лингвистических термов на их ФП, а операции И и ИЛИ – на операции  $\wedge$  и  $\vee$ .

Кратко систему (5) запишем следующим образом:

$$\mu^{d_j}(x_1) = \bigvee_{p=1}^{l_j} \left[ \bigwedge_{i=1}^n \mu^{a_{ip}}(x_i) \right], j = \overline{1, m}. \quad (6)$$

Нечеткие логические уравнения являются аналогом введенной задержки процедуры нечеткого логического вывода [7], которая осуществляется с помощью операции «нечеткая (min–max) композиция».

Учитывая, что в теории нечетких множеств операциям  $\wedge$  и  $\vee$  соответствуют операции min–max [8], из выражения (6) получаем:

$$\mu^{d_j}(x_i) = \max_{p=1, l_j} \left\{ \min_{j=1, n} \left[ \mu^{a_{ip}}(x_i) \right] \right\}. \quad (7)$$

Из выражения (7) видно, что для расчета по этой формуле необходимо иметь лишь ФП переменных нечетким термам.

Нечеткие логические уравнения (5)–(7) вместе с ФП нечетких термов позволяют принять решение по техническому состоянию космических аппаратов в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Фиксируется значение ТМП технического состояния КА:

$$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*).$$

2. Используя методику определения ФП, определяют ФП  $\mu^j(x_1^*)$  при фиксированных значениях параметров  $x_1^*, i = \overline{1, m}$ .

3. Используя логические уравнения, вычисляют значения ФП  $\mu^{d_1}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$  при векторе состояния  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$  для всех состояний  $(d_1^*, d_2^*, \dots, d_n^*)$ . При этом логические операции И ( $\wedge$ ) и ИЛИ ( $\vee$ ) над ФП заменяются на операции  $\min$  и  $\max$ :

$$\mu(x) \wedge \mu(y) = \min[\mu(x), \mu(y)], \quad \mu(x) \vee \mu(y) = \max[\mu(x), \mu(y)],$$

4. Определяется решение  $d_j^*$ , для которого

$$\mu^{d_j^*}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*) = \max_{j=\overline{1, m}} [\mu^{d_j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)].$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенный алгоритм представляет собой взаимосвязанную совокупность математических моделей, обеспечивающих возможность использования доступной экспертной информации для оценки технического состояния космического аппарата и исследования зависимости технического состояния от влияющих на него параметров телеметрической информации.

## Список используемых источников

1. *Прангшвили И.В.* Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: Синтег, 2000.
2. *Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г.* Рефлексивные игры. – М: Синтег, 2003.
3. *Катюха Р.В.* Использование теории нечетких множеств и лингвистических переменных при идентификации технического состояния космических аппаратов. // Материалы 34-й научно-технической конференции «Информационные и телекоммуникационные технологии. Подготовка специалистов для инфокоммуникационной среды» / РВКУС им. М.В. Захарова. – Рязань, 2008. – С. 16
4. *Катюха Р.В., Ратушняк Г.Я.* Принципы комбинированного подхода в задачах синтеза интеллектуальных систем управления сложными техническими системами. // Информационно-измерительные и управляющие системы – 2010. – № 6. – С. 49-62.
5. *Ефимов Е.М.* Решатели интеллектуальных задач. – М.: Наука, 1982. – 316 с.
6. *Бурков В. Н., Ириков В. А.* Модели и методы управления организационными системами. – М.: Наука, 1994. – 270 с.
7. *Васильев С.Н.* От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // Изв. РАН. Теория и системы управления, – 2001 – № 1 и 2.
8. *Колин К.К., Норенков И.П., Наринъяни А.С., Зарубин В.С.* Состояние и перспективы развития информационных технологий // Информационные технологии. – 1999. – № 1. – С. 44–46.

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

## **ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРЕЛЬБЫ АРТИЛЛЕРИИ В ЛОКАЛЬНЫХ ВОЙНАХ И ВООРУЖЕННЫХ КОНФЛИКТАХ**

Рассматриваются характерные задачи моделирования стрельбы артиллерии, которые возникают в ходе локальных войн и вооруженных конфликтов. Раскрывается проблемный аспект рассматриваемых задач. Показано, что для разрешения возникших проблем целесообразно использовать метод математического моделирования. Реализация предлагаемого подхода осуществляется методом динамики средних.

Ключевые слова: огневое воздействие, управление огнем, специальное математическое и программное обеспечение, метод динамики средних, расход снарядов, средние относительные потери, моделирование.

Особенностью современных вооруженных конфликтов является высокая динамичность боевых действий, непредсказуемость местоположения противника, действующего малыми мобильными группами. Результаты анализа опыта локальных войн и вооруженных конфликтов последнего десятилетия свидетельствуют о наличии больших трудностей в организации стрельбы по быстро мигрирующим объектам противника. Поэтому даже при наличии достаточных средств артиллерийской разведки, хорошо организованной системы разведки иногда оказывается, что часть сил и огневых средств противника своевременно вскрыть не удастся. В результате обнаруженные и не подавленные ранее огневые средства противника, как правило, неожиданно начинают вести огонь, нанося большой урон живой силе, вооружению и военной технике. Возникает необходимость своевременного реагирования на подобные действия противника путем организации оперативного огневого воздействия на его объекты и огневые средства. В зависимости от степени разведанности и подавленности целей противника на стрельбу по этим целям должны выделяться различные средства. Практика показывает, что такое огневое противодействие осуществляется в основном силами и средствами ствольной артиллерии.

Для анализа особенностей процесса огневого воздействия по мобильным объектам и огневым средствам противника, как показывает опыт, целесообразно использовать средства автоматизированного управления огнем. Это обусловлено необходимостью быстрой реакции огневых средств на внезапное появление противника с учетом неопределенности пространственно-временных параметров. Для успешного решения задач, связанных с достижением высокой оперативности огневого воздействия по противнику в таких условиях, необходимо иметь функционально полное специальное математическое и программное обеспечение (СМПО) комплексов средств автоматизированного управления огнем (КСАУО) ствольной артиллерии.

Установлено, что одним из наиболее перспективных методов повышения качества СМПО является внедрение в его состав универсального инструментария исследования сложных и неоднозначных боевых ситуаций – математического моделирования. Для реализации такого подхода предлагается построить модель протекающего во времени процесса поражения объектов противника и его огневых средств. Разработанную модель необходимо интегрировать в состав СМПО КСАУО, расширив его функциональные возможности по обеспечению оперативности огневого воздействия по объектам противника, действующего партизанскими методами борьбы.

Изучение содержания научно-исследовательских работ, а также практических результатов по разработке СМПО, полученных ранее в этой области, приводит к выводу о наличии определенного опыта применения простейших аналитических моделей в составе СМПО. В частности, наибольшее распространение получила технология построения модели на основе ана-

литической функции, аппроксимирующей значение ущерба, выраженного через площадные показатели цели. При этом, как правило, в большинстве случаев дополнительно учитываются приведенные срединные ошибки подготовки данных для стрельбы. Однако разработанные модели не обладают требуемой функциональностью, имеют серьезные ограничения по применению в условиях быстро меняющейся обстановки. В частности, модель, построенная с использованием описанной интерпретации функции ущерба, несмотря на ее простоту и удобство применения, к сожалению, также имеет ряд существенных недостатков. Например, с ее помощью достаточно сложно:

- моделировать все многообразие ситуаций, возникающих в современных вооруженных конфликтах, для которых характерна непредсказуемость действий мобильных групп противника;
- осуществлять процедуру поддержки принятия решения артиллерийским командиром (начальником) в условиях организации стрельбы по внезапно возникающим объектам противника, действующего партизанскими методами борьбы;
- оперативно оценивать результаты принятия того или иного варианта решения артиллерийским командиром (начальником) в пределах своей компетенции, а также прогнозировать развитие ситуации после принятия соответствующего решения.

Наличие перечисленных трудностей не позволяет существующему СМПО КСАУО обеспечивать адекватную и оперативную реакцию артиллерии по объектам противника. Именно поэтому для преодоления возникших трудностей предложено использовать возможности математического моделирования как одного из наиболее универсальных методов научного исследования сложных процессов в условиях сформулированной задачи. С целью реализации единого подхода к построению моделей типовых ситуаций в условиях пространственно-временной неопределенности параметров боевых действий, предлагается воспользоваться методом динамики средних. Применение метода динамики средних в качестве методологической основы для математического моделирования стрельбы в вооруженных конфликтах, характеризующихся непредсказуемостью действий мобильных групп противника, как показали первые оценки, вполне оправдано. Предлагаемая модель позволяет адекватно описывать неоднозначные ситуации и оперативно интерпретировать результаты их мониторинга в интересах повышения эффективности стрельбы артиллерии.

Рассмотрим сущность предлагаемой технологии создания модели и особенности ее применения. При создании модели следует учитывать, что она, как один из основных модулей СМПО КСАУО, должна обеспечивать стрельбу по объектам противника, поведение которого характеризуется высокой степенью непредсказуемости, приверженностью к партизанским методам борьбы в вооруженных конфликтах. Для пояснения сущности предлагаемой технологии приведем иллюстративный тактический пример боестолкновения двух сторон. Сторону, войска которой действуют в интересах восстановления конституционного порядка, условно назовем «сторона 1», а сторону, незаконные вооруженные формирования которой ведут партизанские действия, – «сторона 2».

При попытке «стороны 1» атаковать обнаруженного разведкой противника, силы «стороны 1» неожиданно были подвергнуты обстрелу ранее не обнаруженной артиллерийской батареей «стороны 2». Это привело к тому, что живая сила «стороны 1», наступавшая вслед за танками на позиции «стороны 2», залегла. «Сторона 1» для уничтожения демаскировавшей себя батареи привлекла специально выделенный для этой цели артиллерийский дивизион (*адн*). Через  $t_1$  минут после начала огневого налета «стороны 2» артиллерийский дивизион «стороны 1» открыл огонь по батарее.

Предположим, что в батарее «стороны 2» имеется  $N_2$  орудий со скорострельностью  $\lambda_2$  выстрелов в минуту. Зона поражения снаряда  $S_2$  [м<sup>2</sup>].

Живая сила «стороны 1» залегла на площади  $S_1$  [м<sup>2</sup>]. В дивизионе имеется  $N_1$  орудий со скорострельностью  $\lambda_1$  выстрелов в минуту. Вероятность поражения орудия «стороны 2» одним выстрелом –  $p_1$ .

Требуется определить:

- сколько минут *адн* должен вести огонь по батарее, чтобы она прекратила обстрел живой силы «стороны 1»;
- сколько снарядов будет израсходовано батареей на огневое поражение «стороны 1» при условии, что батарея прекратит обстрел, когда будет уничтожено  $n$  ее орудий;
- средние потери живой силы «стороны 1» за то время, пока батарея «стороны 2» вела огонь.

Введем обозначения:

$m_2(t)$  – текущая численность орудий в батарее на момент времени  $t$ ;

$\Lambda_1 = \lambda_1 p_1$  – плотность потока успешных выстрелов одного орудия *адн*;

$t_1$  – момент времени вступления в бой *адн*.

Для определенности будем считать, что корректирование огня не производится и дивизион ответному обстрелу не подвергается, т.е.  $m_1(t) = N_1$ . Тогда, в соответствии с методом динамики средних, текущая численность батареи будет определяться дифференциальным уравнением

$$\frac{dm_2(t)}{dt} = -\Lambda_1 \frac{N_1}{N_2} m_2(t). \quad (1)$$

Используя дифференциальное уравнение (1) в качестве исходного, запишем аналитические выражения для поиска тех величин, которые требуется определить по условию сформулированной задачи. Для этого преобразуем исходное уравнение к виду

$$\int_{N_2}^{m_2(t)} \frac{dm_2}{m_2} = -\int_{t_1}^t \Lambda_1 \frac{N_1}{N_2} d\tau.$$

Решение этого равенства с учетом того, что текущее значение средней численности орудий в батарее на момент времени  $t_1$  будет соответствовать величине  $N_2$ , можно представить в следующем виде:

$$m_2(t) = N_2 e^{-\Lambda_1 \frac{N_1}{N_2} (t-t_1)}. \quad (2)$$

Теперь принимаем во внимание следующее:

- а) по условию задачи батарея будет считаться подавленной, если за время  $\Delta t = t_2 - t_1$ , где  $t_2$  – момент подавления батареи, будет поражено  $n$  орудий батареи;
- б) к моменту вступления в бой *адн* численность батареи будет определяться величиной  $m_2(t_1) = N_2$ .

Тогда из выражения (2) следует:

$$\frac{N_2 - n}{N_2} = e^{-\Lambda_1 \frac{N_1}{N_2} (t_2-t_1)}. \quad (3)$$

В свою очередь, из выражения (3) получаем формулу для определения времени, необходимого *адн* для подавления батареи:

$$\Delta t = \frac{N_2}{N_1 \Lambda_1} \ln \frac{N_2}{N_2 - n}. \quad (4)$$

Следовательно, получено выражение, которое в процессе моделирования позволит определить: сколько времени *адн* должен вести огонь по батарее, чтобы она прекратила обстрел живой силы «стороны 1».

Затем найдем выражение для моделирования второй задачи – определения расхода снарядов батарей за время ее стрельбы по живой силе.

Введем обозначения:

$\xi_1$  – расход снарядов батареи «стороны 2» по живой силе за промежуток времени  $(0, t_1)$  до момента начала обстрела батареи дивизионом «стороны 1». Очевидно, что

$$\xi_1 = N_2 \Lambda_2 t_1; \quad (5)$$

$\xi_2$  – расход снарядов батареи «стороны 2» по живой силе за время  $\Delta t$  на промежутке  $(t_1, t_2)$ , определяется по формуле

$$\xi_2 = \int_{t_1}^{t_2} \lambda_2 m_2(\tau) d\tau \quad (6)$$

или с учетом выражения (2)

$$\begin{aligned} \xi_2 &= \int_{t_1}^{t_2} \lambda_2 N_2 e^{-\Lambda_1 \frac{N_1}{N_2}(\tau-t_1)} d\tau = \frac{\lambda_2 N_2^2}{\Lambda_1 N_1} \int_{t_1}^{t_2} e^{-\Lambda_1 \frac{N_1}{N_2}(\tau-t_1)} d\left(-\Lambda_1 \frac{N_1}{N_2}(\tau-t_1)\right) = \\ &= -\frac{\lambda_2 N_2^2}{\Lambda_1 N_1} \left( e^{-\Lambda_1 \frac{N_1}{N_2}(\tau-t_1)} \right) \Big|_{t_1}^{t_2} = -\frac{\lambda_2 N_2^2}{\Lambda_1 N_1} \left( e^{\frac{\Lambda_1 N_1}{N_2}(t_2-t_1)} - 1 \right). \end{aligned}$$

Следовательно, расход снарядов батареи «стороны 2» для стрельбы по живой силе «стороны 1» за время  $\Delta t$  на промежутке  $(t_1, t_2)$  определяется по формуле

$$\xi_2 = \frac{\lambda_2 N_2^2}{\Lambda_1 N_1} \left( 1 - e^{-\Lambda_1 \frac{N_1}{N_2} \Delta t} \right). \quad (7)$$

Таким образом, общий расход снарядов батарей «стороны 2»  $\xi$  за время ее стрельбы по живой силе «стороны 1» будет определяться величиной, рассчитанной в соответствии с выражением

$$\xi = \xi_1 + \xi_2.$$

Определим средние потери живой силы «стороны 1» за то время, пока батарея «стороны 2» вела огонь.

С целью достижения более высокого уровня общности научно-методических результатов, при условии сохранения требуемой адекватности моделирования допустим, что снаряды

равномерно накрывают цель. Тогда средние относительные потери в живой силе  $\Pi$  на промежутке времени  $(0, t_2)$  можно определять в соответствии с выражением

$$\Pi = 1 - \exp \left\{ -\frac{S_2(\xi_1 + \xi_2)}{S_1} \right\} \quad (8)$$

или с учетом формул (5) и (7)

$$\Pi = 1 - \exp \left\{ -\frac{S_2 N_2 \lambda_2}{S_1} \left[ t_1 + \frac{N_2}{\Lambda_1 N_1} \left( 1 - e^{\Lambda_1 \frac{N_1}{N_2} \Delta t} \right) \right] \right\}. \quad (9)$$

Таким образом, математическое моделирование стрельбы в вооруженных конфликтах, характеризующихся непредсказуемостью действий мобильных групп противника, предполагает дальнейшее развитие существующих положений метода динамики средних. Особенностью рассмотренной модели, отличающей ее от классической модели «слабо организованного боя», является определенная «асимметричность» в представлении исходной информации. Это, во-первых, потребовало разработки новых подходов к реализации модели, а во-вторых, позволило расширить спектр решаемых с ее помощью задач.

#### Список используемых источников

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

В.А. Кежаев,  
доктор техн. наук, профессор;  
И.В. Давидюк  
кандидат воен. наук

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОКОТОЧНОГО ОРУЖИЯ ПРИ УСЛОВИИ АДДИТИВНОСТИ РАЗНОРОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Изложены проблемные аспекты оценивания эффективности применения высокоточного оружия в современных военных действиях. Обращается внимание на методологические особенности разрешения противоречий в этой области. Предлагается подход к решению типовых задач в конкретной предметной области при условии аддитивности разнородной информации.

Ключевые слова: эффективность, высокоточное оружие, информация, аддитивность разнородной информации, энтропия, риск, информационный показатель.

Метод оценки эффективности информационных звеньев и подсистем АСУ на основе энтропийного подхода позволяет оценивать эффективность канала связи лишь в тех случаях, когда имеется только один из элементов обстановки, то есть для одномерных сообщений. Чтобы оценить эффективность АСУ в целом, необходимо воспользоваться свойством аддитивности информации. При этом можно было бы рассматривать и многомерные сообщения. Однако здесь как раз и возникает трудность, обусловленная неравноценностью информации по тому или иному элементу обстановки. Особую значимость такая задача приобретает для оценивания эффективности высокоточного оружия при условии аддитивности разнородной информации.

С целью преодоления этой трудности рассмотрим метод, сущность которого сводится к следующему. Отыскивается и вычисляется информация о предполагаемом выполнении управляемыми формированиями поставленной перед ними задачи. Эта информация содержится в сообщении, принимаемом или передаваемом органом управления. При этом полагаем, что результат решения задачи определяется одним из состояний основного оценочного элемента обстановки, в простейшем случае имеющего два состояния: задача решена, и задача не решена. Тогда в источник информации входит оценочный элемент вместе с другим связанным с ним элементом обстановки (состояние которого является предметом сообщения).

Внутренние связи между различными элементами обстановки могут быть описаны математически, так же, как обычно в теории информации описываются внешние связи. При наличии, например, трехмерной модели обстановки, если оценочный элемент  $\xi^0$  связан с двумя другими элементами:  $\xi^{ио}$  (вариант исходной обстановки) и  $\xi^{дф}$  (вариант действия формирований), – условная энтропия результата действия будет определена как

$$H(\xi_k^0 / \xi_i^{ио}; \xi_j^{дф}) = - \sum_k \sum_i \sum_j p(\xi_i^{ио}; \xi_j^{дф}) \times \\ \times p(\xi_k^0 / \xi_i^{ио}; \xi_j^{дф}) \log p(\xi_k^0 / \xi_i^{ио}; \xi_j^{дф}), \quad (1)$$

где  $k, i, j$  – номера вариантов соответствующих элементов.

Из приведенного выражения следует, что энтропия внутренних связей между элементами обстановки определяет ценность внешней информации. Если энтропия внутренних связей

равна нулю, то возможна максимальная оптимизация действия формирований, и в таком случае внешняя информация имеет наибольшую ценность. Если же энтропия внутренних связей максимальна, то оптимизация вообще невозможна и при этом значимость внешней информации (даже в том случае, когда она передается по каналу связи без потерь) равна нулю.

Применительно к общему случаю, когда для вычисления искомой информации энтропия оценочного элемента должна учитывать внешние и внутренние связи между элементами обстановки, будем иметь:

$$\begin{aligned} H_{\lambda_m^{ио}; \lambda_n^{дф}}(\xi_k^o) = & - \sum_m \sum_n [p(\lambda_m^{ио}) p(\lambda_n^{дф} / \lambda_m^{ио}) \times \\ & \times \sum_k \sum_i \sum_j \{p(\xi_k^o / \xi_i^{ио}; \xi_j^{дф}) p_{\lambda_m^{ио}}(\xi_i^{ио}) p_{\lambda_n^{дф}}(\xi_j^{дф}) \times \\ & \times \log[p(\xi_k^o / \xi_i^{ио}; \xi_j^{дф}) p_{\lambda_m^{ио}}(\xi_i^{ио}) p_{\lambda_n^{дф}}(\xi_j^{дф})]\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\lambda^{ио}$  и  $\lambda^{дф}$  – символические отображения элементов  $\xi^{ио}$  и  $\xi^{дф}$  в органе управления.

Из приведенного выражения следует, что для вычисления энтропии оценочного элемента необходимо перебрать решения задачи по всем возможным вариантам обстановки и соответствующим им оптимальным решениям. Эта очень громоздкая расчетная процедура практически реализуема лишь путем математического моделирования. Следовательно, математическая оценка эффективности технических средств управления может применяться с достаточной строгостью только в тех случаях, когда имеется математическая модель решаемой задачи, т.е. тогда, когда процесс управления может быть полностью формализован и автоматизирован.

Сравнительный анализ энтропии оценочного элемента с усредненным по всем возможным вариантам обстановки минимальным риском решения задачи подтверждает, что внешняя информация по оценочному элементу обладает ценностными свойствами, т.е. учитывает важность того или иного сообщения в данной обстановке, потому что непосредственно связана с вероятностью решения задачи  $p(\xi_k^o)$ . А поскольку энтропия описывает не только внешние, но и внутренние связи, то одновременно учитывает и другие факторы, влияющие на решение задачи, такие, например, как соотношение сил, их боевая готовность и т.п.

Однако связь энтропии оценочного элемента с вероятностью решения задачи неоднозначна, так как при вычислении энтропии берется в расчет вся совокупность возможных состояний оценочного элемента, характеризующего результат действия формирований. Для устранения многозначности необходимо ввести функцию

$$f[p_{\lambda_m^{ио}; \lambda_n^{дф}}(\xi_k^o / \xi_i^{ио}; \xi_j^{дф})] = F[-\log p_{\lambda_m^{ио}; \lambda_n^{дф}}(\xi_k^o / \xi_i^{ио}; \xi_j^{дф})], \quad (3)$$

которую, условно, можно считать "энтропией" решения задачи. Условность заключается в том, что общепринятое понятие энтропии трудно согласуется с рассматриваемым случаем, в котором речь идет не о совокупности состояний некоторого элемента, а об одном единственном состоянии  $\xi_k^o$  ("задача решена"). Тем не менее эта функция позволяет вычислить частную внешнюю информацию о решении задачи, усредненную по всем вероятным реализациям символических элементов  $\lambda^{ио}$  и  $\lambda^{дф}$  (т.е. по всем допустимым исходным обстановкам и по всем оптимальным решениям).

Функция (3) может быть использована в качестве как информационного показателя, так и своеобразного боевого показателя эффективности действия формирований, так как она выражается математическим ожиданием логарифма вероятности решения ими задачи (с обратным знаком) при условии получения или передачи органом управления некоторого сообщения. Эффективность звена передачи информации при этом определяется как

$$\chi = \frac{f[p(\xi_k^o)] - f[p_{\lambda_m^{ио}; \lambda_n^{дф}}(\xi_k^o / \xi_i^{ио}; \xi_j^{дф})]}{f[p(\xi_k^o)]}. \quad (4)$$

Таким образом, методологические особенности оценивания эффективности высокоточного оружия при условии аддитивности разнородной информации связаны с возможностью использования выражения (4) в качестве меры относительной оптимизации решения или действия формирований за счет внешней информации. Поскольку формула учитывает и внутреннюю информацию, то, выполнив некоторые преобразования, ею можно пользоваться для оценки не только эффективности звеньев передачи информации, но и других звеньев, а также и всей системы управления.

#### Список используемых источников

1. *Советов Б.Я.* Теория информации. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. – 184 с.
2. *Мачулин В.В., Пятибратов А.П.* Эффективность систем обработки информации. – М.: Сов. радио, 1972. – 280 с.
3. *Кежаев В.А., Марков С.В.* Проблемные аспекты оценивания эффективности поражения группового объекта высокоточными боеприпасами автономного наведения и пути их преодоления // Известия Российской Академии ракетных и артиллерийских наук: журнал. – М.: РАРАН, 2011. – Вып. 5(71). – С. 66–76.
4. Надежность и эффективность в технике: справочник: в 10 т. / ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др; под ред. А.И. Рембезы. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 1: Методология. Организация. Терминология. – 224 с.

В.А. Кежаев,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
А.В. Заякин;  
Ю.Ю. Канищева

## **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ И ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ МЕСТНОСТИ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ АРТИЛЛЕРИИ**

Рассматривается применение нового направления в теории искусственного интеллекта для решения прагматических вопросов управления. Излагаются современные взгляды на решение проблемы повышения информативности данных, используемых должностными лицами органов управления. Предлагаются пути преодоления возникших проблем, связанных с ограниченностью психофизиологических возможностей человека по обработке больших объемов разнородной информации.

Ключевые слова: когнитивная графика, электронные карты местности, автоматизированные системы управления, машинная графика, когнитивные модели, искусственный интеллект, моделирование.

Как показывает опыт локальных войн и вооруженных конфликтов, современный общевойсковой бой характеризуется решительностью, высокой маневренностью, напряженностью и скоротечностью, быстрыми и резкими изменениями обстановки и разнообразием применяемых способов его ведения. Массовое оснащение войск высокоточным оружием, эффективными комплексами разведки, автоматизированными системами управления, позволяющими организовать управление артиллерийскими формированиями в реальном масштабе времени способствуют достижению успеха согласованными усилиями всех участвующих войск в короткие сроки.

Одну из важнейших задач в современном скоротечном бою выполняют артиллерийские формирования. Рассмотрим особенности визуализации результатов пространственно-временного моделирования боевых действий артиллерийских формирований с использованием возможностей современной когнитивной графики. В качестве примера будем использовать действия противотанковых подразделений. Отметим, что воздействие интерактивной компьютерной графики на интуитивное, образное мышление привело к возникновению нового направления в проблематике искусственного интеллекта – когнитивной (т.е. способствующей познанию) компьютерной графике.

Когнитивная графика отличается от машинной графики тем, что ее основной задачей является создание таких моделей представления знаний (когнитивных моделей), в которых была бы возможность однообразными средствами представлять как объекты, характерные для алгебраического мышления, так и образы-картины, с которыми оперирует геометрическое мышление. Эти комбинированные когнитивные структуры – основные объекты когнитивной графики.

Принимая во внимание результаты исследований признанного авторитета в области искусственного интеллекта Д.А. Поспелова, для решения возникшей проблемы предлагается решить задачи когнитивной графики:

- создание таких моделей представления знаний, в которых была бы возможность однообразными средствами представлять как объекты, характерные для логического мышления, так и образы-картины, с которыми оперирует образное мышление;
- визуализацию тех естественных знаний, для которых пока невозможно подобрать текстовые описания;

– поиск путей перехода от наблюдаемых образов-картин к формулировке некоторой гипотезы о тех механизмах и процессах, которые скрыты за динамикой наблюдаемых картин.

Как показывают результаты моделирования, продолжительность боя противотанкового дивизиона с бронетанковой группировкой противника может составлять от 10 до 15 минут. При этом после первых выстрелов (пусков ПТУР) дивизион обнаруживает расположение своих огневых средств на рубеже развертывания, что приводит к дуэльной ситуации. Это обстоятельство требует от командира дивизиона тщательного планирования построения боевого порядка и системы огня с учетом рельефа местности для достижения максимальной дальности поражения бронеобъектов противника. В условиях активного огневого контакта маневр подразделений противотанкового дивизиона нецелесообразен (практически невозможен, так как подразделения будут немедленно обнаружены и уничтожены огнем танков и поддерживающих их огневых средств).

Кроме того, при ведении дуэльного боя система противотанкового огня должна обеспечить взаимное перекрытие полос огня (секторов) батарей, взводов (отдельных противотанковых средств) и возможность маневра огнем на всем рубеже развертывания, в том числе на флангах.

В современных условиях одним из таких инструментов, позволяющих командиру выполнить указанные выше требования, является программный комплекс пространственно-временного моделирования с применением электронных карт местности с элементами 3-D визуализации. Имея в своем распоряжении 3-D карту местности района предстоящих боевых действий, командир дивизиона может заранее определить поля невидимости, наиболее выгодное расположение огневых подразделений и в соответствии с этим назначить полосы огня и дополнительные секторы обстрела, определить проходимость местности и установить маршруты маневра. Схема проведения целеуказания командиром представлена на рис. 1–4. При этом для должностных лиц предлагается следующий порядок работы:

– командир противотанкового артиллерийского дивизиона (птадн), находящийся в командирской машине управления на своем командно-наблюдательном пункте личным наблюдением за полем боя и по докладам подчиненных (рис. 1) определил, что основные силы противника сосредоточены на левом фланге занимаемого рубежа в полосе 3 батареи (батр) противотанковых управляемых ракет (ПТУР);

– оценив обстановку, командир дивизиона приказывает командиру 3-й батр ПТУР сосредоточить усилия на более узком участке, а командиру 1-й противотанковой артиллерийской батареи (птабтр) ставит задачу перенести огонь второго огневого взвода в полосу огня 3-й батр ПТУР. При этом указанные участки местности, определенные командиром дивизиона, он наносит на электронную карту местности (для каждого исполнителя), которая автоматически отправляется на автоматизированные рабочие места (АРМ) подчиненных;

– при получении информации от командира дивизиона командиры батарей определяют участки местности и часть бронетанковой группировки противника, указанные командиром дивизиона, и распределяют их между огневыми взводами. При этом целеуказание осуществляется автоматической передачей этих участков с АРМ командиров батарей на АРМ командиров взводов (рис. 2, 3);

– командир взвода, получив информацию от командира батареи о положении своего участка, отображенного на электронной карте местности в автоматизированном режиме, снимает координаты флангов, а оптический прибор автоматически наводится в заданные точки местности (обозначающие правый и левый фланги участка).

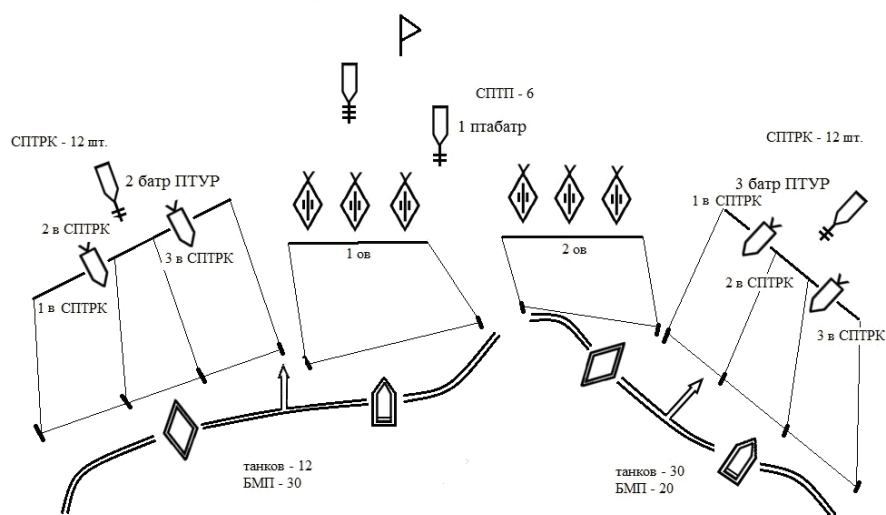


Рис. 1. Целеуказание командира птабтр командирам батарей

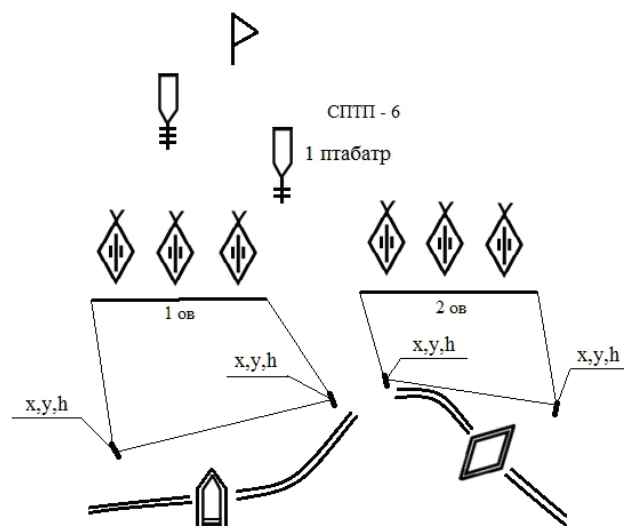


Рис. 2. Целеуказание командира 1-й птабтр командирам 1-го и 2-го взводов

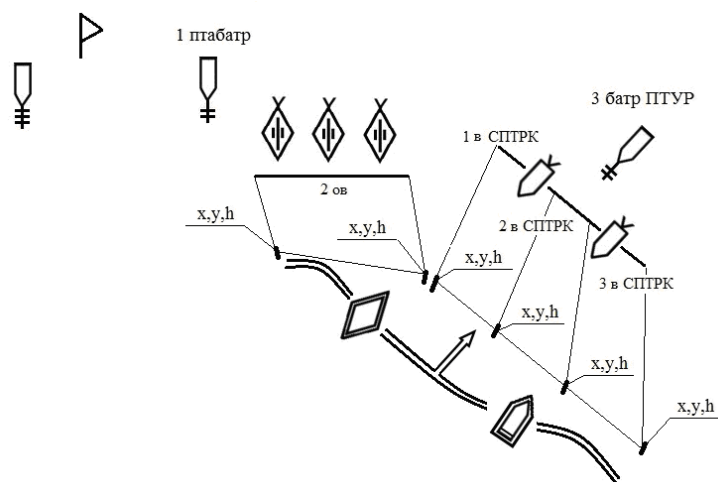


Рис. 3. Целеуказание командиров 1-й птабтр и 3-й батр ПТУР командирам взводов

После этого командир взвода на электронной карте местности назначает сектора обстрела и автоматически доводит их до подчиненных огневых средств (рис. 4).

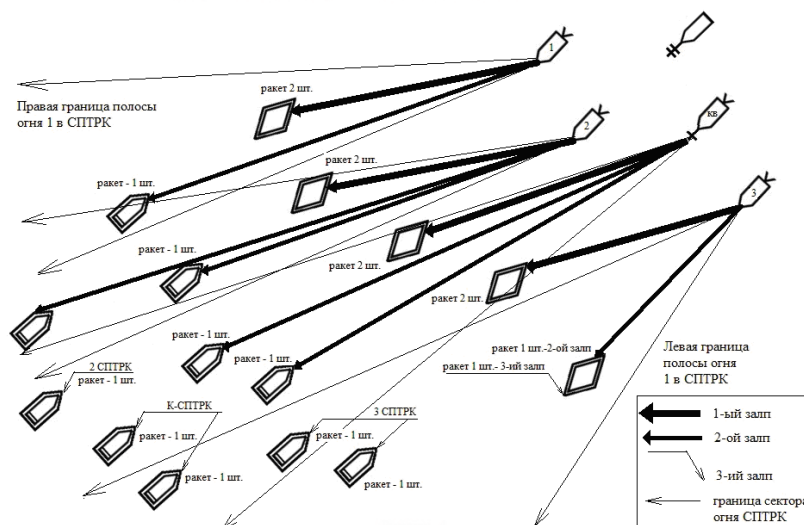


Рис. 4. Целеуказание командира 1-го взвода (1-го в СПТРК) подчиненным

#### Примечания.

1. В первом залпе назначает к поражению танки – 4 шт. (по ПТУР-2) (справа – налево).
2. Во втором залпе 5-й танк – 3 СПТРК (ПТУР-2).
3. Остальные – по наступающим БМП (по ПТУР-1) справа налево в своих секторах по две БМП.
4. В третьем залпе – по одной БМП (справа налево, в своих секторах).

Таким образом, преимущества применения когнитивной графики для визуализации результатов моделирования боевых действий артиллерийских формирований с использованием электронных карт местности особенно остро проявляются в условиях скоротечного боя. Кроме того, по результатам проведенных исследований, предлагаемый способ позволяет существенно сократить время планирования боевых действий артиллерийских формирований. В то же время режимы целеуказаний и доведение информации при наличии предлагаемой визуализации позволяют существенно сократить цикл управления и повысить достоверность, точность и качество передаваемой информации.

#### Список используемых источников

1. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика / под ред. Д. А. Поспелова. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 192 с.
2. Егорова А.А. Когнитивная графика в системах специального назначения // Системные проблемы корабельных информационно-управляющих комплексов (эффективность, надежность, экономика): сб. докладов научно-технической конференции ФГУП «НПО Агат». Москва, 1-2 марта 2005. – Ч. 2. – С. 55–57.
3. Искусственный интеллект: в 3 кн.: справочник / под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – Кн. 2: Модели и методы. – 304 с.

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

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОКОТОЧНОГО ОРУЖИЯ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОТИВОБОРСТВА**

Рассматриваются различные аспекты проблемы оценивания эффективности применения высокоточного оружия. Существенное внимание уделяется вопросам информационного противоборства. При этом анализируются различные нетривиальные ситуации в рассматриваемой предметной области и способы оперативной компенсации возникающих угроз. Описывается сущность методического подхода к решению типовых задач оценивания эффективности высокоточного оружия в условиях информационного противоборства.

Ключевые слова: эффективность, высокоточное оружие, информация, информационное противоборство, аппарат оценивания эффективности высокоточного оружия.

Одной из наиболее сложных задач информационного противоборства является организация активной разведки и своевременного обнаружения объектов противника с целью их эффективного поражения. Положение усугубляется тем, что в процессе информационного противоборства противник стремится использовать самые современные средства поражения. Поэтому требования к разведывательному обеспечению, безусловно, ужесточаются. Как следствие, информационно-временные характеристики разведывательного обеспечения необходимо постоянно контролировать, чтобы поддерживать их на уровне, обеспечивающем надежное поражение противника в любых условиях информационного противоборства. Следовательно, необходимо иметь соответствующий методический аппарат оценивания эффективности высокоточного оружия в условиях информационного противоборства.

Как показывают результаты исследований по прогнозированию развития сценариев информационного противоборства в перспективных формах военных действий, а также опыт информационной борьбы в локальных войнах и вооруженных конфликтах, для успешного решения задач необходимо иметь соответствующее методическое обеспечение. Причем в настоящее время все большую актуальность приобретает задача оценивания эффективности разведывательного обеспечения в задачах информационного противоборства.

Исходя из практических потребностей, связанных с вопросами всестороннего обеспечения применения новых видов поражения противника в операции (бою), в первую очередь требуется разработать методику оценивания эффективности разведывательного обеспечения применения высокоточного оружия (ВТО). Однако в специальной литературе до сих пор сохраняется неоднозначность понятия эффективности разведывательного обеспечения применения ВТО. Сущность и содержание данного понятия окончательно не определены и не имеют единого толкования. Такое положение в определенной степени затрудняет проведение системных исследований в данной области. Принимая во внимание, что это качественная категория, которая отражает степень достижения целей по полному и своевременному обеспечению разведывательной информацией процесса применения ВТО, предлагается данное понятие трактовать следующим образом.

Эффективность разведывательного обеспечения применения высокоточного оружия – это степень обеспечения соответствующих должностных лиц, органов, пунктов и объектов управления различного уровня в реальном масштабе времени достоверными и точными разведывательными данными об объектах противника, поражаемых ВТО.

Предлагаемая методика на функциональном уровне должна учитывать:

- функционирование ВТО в едином информационном пространстве на соответствующем ТВД или операционном направлении;

- специфику использования геоинформационных технологий с учетом возможности их адаптации к конкретному виду ВТО;
- особенности решения задачи оценивания эффективности разведывательного обеспечения ВТО в режиме реального времени;
- особенности решения задачи оценивания эффективности разведывательного обеспечения ВТО в соответствии с зонами ответственности войсковых инстанций за разведку и поражение средствами ВТО;
- возможность предоставления полученных результатов потребителям в наглядном и доступном для дальнейшего использования виде.

Исходя из сущности и содержания разведывательного обеспечения и специфики применения высокоточного оружия, методика оценивания эффективности разведывательного обеспечения применения высокоточного оружия должна включать следующие компоненты.

1. Определение показателей:

- качества результатов разведывательного обеспечения ВТО с помощью вектора  $\bar{Y}_{po}$  частных показателей  $\tilde{D}$ ,  $\tilde{E}_{cp}$ ,  $\tilde{P}_{co}$ ;

- эффективности разведывательного обеспечения ВТО  $W_g = W(\bar{Y} \in \{\bar{Y}^d\})$ .

2. Определение требований к результатам разведывательного обеспечения ВТО. Требования определяются областью  $\{\bar{Y}^d\}$  допустимых значений  $\tilde{D}$ ,  $\tilde{E}_{cp}$ ,  $\tilde{P}_{co}$ .

3. Определение требований к эффективности разведывательного обеспечения ВТО. Определяется требуемое к вскрытию количество объектов или степень вскрытия группировки противника, поражаемой средствами ВТО  $W_{\Theta_{np}}$ .

4. Формулировка критерия оценивания качества разведывательного обеспечения ВТО,

$$G_{цр} : \bar{Y} \in \{\bar{Y}^d\} \quad \text{или} \quad \left\{ \begin{array}{l} \tilde{D} \leq \tilde{D}^d; \\ \tilde{E}_{cp} \leq \tilde{E}_{cp}^d; \\ \tilde{P}_{co} \geq \tilde{P}_{co}^d. \end{array} \right\}.$$

5. Формулировка критерия эффективности разведывательного обеспечения применения ВТО  $G_{цэ} : W_g \geq W_{\Theta_{np}}$ .

Оценивание эффективности разведывательного обеспечения ВТО предлагается проводить в два этапа:

- а) на первом этапе оценивается качество сформированных разведывательных данных;
- б) на втором этапе оценивается эффективность разведывательного обеспечения ВТО.

Причем для оценивания эффективности целесообразно использовать следующую информацию из состава разведывательного обеспечения ВТО:

- оперативно-тактические характеристики объектов противника;
- качественные характеристики разведывательных данных, примерный состав которых применительно к ВТО, включает следующие позиции:
  - уровень управления;
  - продолжительность цикла «обнаружение объекта – подготовка данных для применения ВТО»;
  - точность определения координат объектов;
  - периодичность наблюдения объектов (подвижных, стационарных);

оперативность (своевременность);  
достоверность.

В соответствии с предложенной методикой оценивание эффективности следует проводить на двух уровнях и реализовывать в два этапа.

Для реализации первого этапа предлагается сформировать интегральный показатель качества разведывательного обеспечения, в состав которого включить следующие частные показатели качества (адекватности):

- обобщенный показатель достоверности разведывательных данных  $D$ ;
- точность определения пространственных координат объекта  $E$ ;
- вероятность своевременного обнаружения объекта  $P_{\text{co}}$ .

Тогда интегральным показателем качества разведывательного будет вектор  $\bar{Y}_{\text{po}}$  показателей  $\tilde{D}, \tilde{E}_{\text{cp}}, \tilde{P}_{\text{co}}$  его частных результатов.

Разработка методики определения обобщенного показателя достоверности разведывательных сведений, точности пространственных координат и размеров обобщенных разведывательных данных, вероятности своевременного обнаружения объекта является отдельной самостоятельной задачей.

Необходимо иметь в виду, что при оценке эффективности выполнения ожидаемых задач ВТО или принятии решения на их выполнение следует учитывать случайность времени нахождения объекта на позиции  $T$ . При этом главным фактором является не вероятность своевременного открытия огня (принятия решения) по конкретному объекту противника, а вероятность своевременного поражения объекта. Для этого необходимо знать вероятность своевременного обнаружения объекта, т.е. вероятность того, что отрезок времени от момента обнаружения до оставления объектом занимаемых позиций окажется больше времени, затрачиваемого на весь цикл разведывательной работы с учетом подготовки огня и полета боеприпаса до цели.

При фиксированном значении  $T$  вероятность своевременного обнаружения можно определить с помощью выражения

$$P_{\text{co}}(t) = \begin{cases} 1 - \exp\left(-\sum_{i=1}^{\gamma} \lambda_i P_{\text{об}_i}(T-t)\right), & \text{если } T > t, \\ 0, & \text{если } T \leq t. \end{cases} \quad (1)$$

- где  $t$  – время, прошедшее от момента обнаружения до начала поражения объекта;  
 $T$  – продолжительность нахождения объекта на позиции;  
 $\lambda_i$  – частота просмотра района расположения объекта средством разведки;  
 $P_{\text{об}_i}$  – вероятность обнаружения объекта  $i$ -м средством разведки;  
 $\gamma$  – число средств, ведущих разведку района расположения данного объекта.

С учетом случайного характера продолжительности нахождения объекта на позиции

$$P_{\text{co}}^*(t) = \int_t^{\infty} P_{\text{co}}(t) \varphi(t) dt. \quad (2)$$

Продолжительность нахождения объекта противника на позиции определяется достаточно большим количеством случайных факторов, ни один из которых не имеет превалирующего значения. Поэтому можно принять допущение о нормальном законе распределения случайной величины  $T$ .

Подставив в выражение (2) функцию плотности нормального закона распределения случайной величины, после преобразований получим

$$P_{\text{co}}^*(t) = 1 - F\left(\frac{t - m_T}{\sigma_T}\right) - \exp \Lambda\left(t + \frac{\sigma_T^2 \Lambda}{2} - m_T\right) \left[1 - F\left(\frac{t + \sigma_T^2 \Lambda - m_T}{\sigma_T}\right)\right], \quad (3)$$

где  $m_T$  – математическое ожидание продолжительности нахождения объекта на позиции;

$\sigma_T$  – среднеквадратическое отклонение продолжительности нахождения объекта на позиции.

Табулированная функция определяется как

$$F(\cdot) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Выражение (3) позволяет определять значение показателя своевременности обнаружения объектов противника на любой необходимый момент времени. Кроме того, достоинством предлагаемого варианта расчета данного показателя является то, что благодаря этому удастся сохранить связь между системой разведывательного обеспечения и системой огневого поражения ВТО.

На следующем шаге оценивания качества обосновываются требования к результатам разведывательного обеспечения – область  $\{\bar{Y}^D\}$  допустимых значений частных показателей  $\tilde{D}$ ,  $\tilde{E}_{\text{cp}}$ ,  $\tilde{P}_{\text{co}}$ .

Требования к обобщенному показателю достоверности разведывательных данных должны отвечать ранее принятому методу оценки в соответствии со шкалой оценок обобщенной функции желательности Харрингтона. Далее формулируется критерий оценивания качества результатов разведывательного обеспечения.

Данные, полученные в результате разведывательного обеспечения, считаются пригодными если

$$G_{\text{цр}} : \bar{Y} \in \{\bar{Y}^D\} \quad \text{или} \quad \left\{ \begin{array}{l} \tilde{D} \leq \tilde{D}^D; \\ \tilde{E}_{\text{cp}} \leq \tilde{E}_{\text{cp}}^D; \\ \tilde{P}_{\text{co}} \geq \tilde{P}_{\text{co}}^D. \end{array} \right. \quad (4)$$

На втором этапе оценивается эффективность разведывательного обеспечения ВТО. Для этого в первую очередь определяется показатель эффективности разведывательного обеспечения.

Показателем эффективности разведывательного обеспечения ВТО может быть достигнутая степень вскрытия противостоящей группировки противника  $W_{\text{г}}$  при соответствии результатов разведывательного обеспечения критерию пригодности  $G_{\text{цр}}$  (только для объектов, поражаемых ВТО),

$$W_{\text{г}} = W(\bar{Y} \in \{\bar{Y}^D\}). \quad (5)$$

Вместе с тем для эффективного применения результатов разведывательного обеспечения, необходим и другой показатель – степень наполнения группировки (объекта) противника  $W_{\text{н}}$ . Эта величина отражает степень раскрытия элементарных составляющих объектов противника.

Степень наполнения противостоящей группировки (объекта) модели построения сил противника рассчитывается по формуле

$$W_n = \begin{cases} \frac{\sum_{j=1}^K A_j W_{\mathfrak{A}_j}}{\sum_{i=1}^L A_i}, & \text{при } L \neq 0; \\ 1, & \text{при } L = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Тогда степень вскрытия группировки противника можно найти, используя следующее рекурсивное выражение:

$$W_{\mathfrak{A}} = \begin{cases} W_n, & \text{при } z^* = 0; \\ 1, & \text{при } z^* \neq 0. \end{cases} \quad (7)$$

или

$$W_{\mathfrak{A}} = \begin{cases} \frac{\sum_{j=1}^K A_j W_{\mathfrak{A}_j}}{\sum_{i=1}^L A_i}, & \text{при } L \neq 0; \\ 1, & \text{при } L = 0, \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{при } z^* = 0; \\ \text{при } z^* \neq 0, \end{matrix} \quad (8)$$

где  $z^*$  – указатель на разведывательное сообщение о данном объекте.

Далее, на этом этапе, задаются требования к эффективности разведывательного обеспечения – требуемое к вскрытию количество (степень вскрытия) различного типа объектов противника, поражаемых ВТО  $W_{\mathfrak{A}_{\text{пр}}}$ .

Последней задачей является формулировка критерия оценки эффективности разведывательного обеспечения. Для решения задач эффективного огневого поражения противника средствами ВТО в условиях дефицита времени целесообразно за критерий оценки принять критерий пригодности системы разведывательного обеспечения

$$G_{\text{цэ}} : W_{\mathfrak{A}} \geq W_{\mathfrak{A}_{\text{пр}}}. \quad (9)$$

Таким образом, эффективность разведывательного обеспечения высокоточного оружия в задачах информационного противоборства позволяет анализировать ход его разведывательного обеспечения в режиме реального времени. Для проверки достоверности полученных результатов необходимо оценить эффективность разработанного научно-методического аппарата в условиях конкретной оперативно-тактической обстановки.

#### Список используемых источников

1. Кежаев В.А., Марков С.В. Проблемные аспекты оценивания эффективности поражения группового объекта высокоточными боеприпасами автономного наведения и пути их пре-

одоления // Известия Российской Академии ракетных и артиллерийских наук: журнал. – 2011. – Вып. 5(71). – С. 66–76.

2. *Петухов Г.Б.* Основы теории эффективности целенаправленных процессов: учебное пособие. – МО СССР, 1989. – Ч. 1. – 635 с.

С.В. Логунов;  
Д.В. Фролов,  
*кандидат техн. наук*

## РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ ЧИСЛА ПРИЗНАКОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ЗВЕЗД ПО НЕКООРДИНАТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрены постановка и решение задачи классификации звезд по их спектрофотометрической информации в условиях параметрической априорной неопределенности их спектральных характеристик. Предложен адаптивный алгоритм выделения главных факторов, позволяющий оптимизировать число признаков распознавания звезд по их спектрам мощности и осуществлять их классификацию с помощью предложенного алгоритма многоальтернативного обнаружения.

Ключевые слова: астрофотометрия, классификация звезд, метод главных факторов, приборы с зарядовой связью, адаптивный алгоритм.

### ВВЕДЕНИЕ

При проведении астрономических наблюдений звезд их классификация производится по результатам анализа как координатной, так и некоординатной информации. Для этого можно использовать оценки звездных величин, спектральные характеристики, угловые расстояния между звездами, предполагаемое угловое положение звезд на небесной сфере относительно наблюдателя, полученные в результате анализа изображений, снимаемых с преобразователя свет-сигнал. В качестве преобразователя применяются трубки типа суперкремникон, приборы с зарядовой связью (ПЗС), а также «системы на кристалле» и «видеосистемы на кристалле», выполненные на базе КМОП технологии [2].

При астрофотометрических наблюдениях измеряется количество лучистой энергии в определенном интервале частот (длин волн), при которых определяются величины светового потока в большом количестве узких спектральных участков так, чтобы в результате получить распределение энергии в спектре [1].

Целью работы является разработка адаптивного алгоритма классификации звезд, основанная на применении метода главных факторов [4], стохастической аппроксимации и критерия Хартли, предназначенного для определения числа главных факторов.

С помощью алгоритма, реализующего метод главных факторов, осуществляется линейное преобразование исходной совокупности случайных выборок изображения в набор с меньшим числом некоррелированных и наиболее представительных составляющих – главных факторов. Особенностью предлагаемого алгоритма является то, что он работоспособен в условиях параметрической априорной неопределенности статистических характеристик сигналов звезд, фона неба и шумов преобразователя свет-сигнал.

### ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ

Задача распознавания образов звезд сводится к проверке  $r$  статистических гипотез  $H_i$ ,  $i = \overline{1, r}$  о наличии одного из сигналов  $\vec{s}_i$  на фоне совокупности фона неба и шумов  $\vec{w}$  преобразователя свет-сигнал (ПЗС матрицы)

$$H_i : \quad \vec{x} = \vec{s}_i + \vec{w}, \quad i = \overline{1, r}, \quad (1)$$

В формуле (1) введены следующие обозначения:  $\vec{s}_i$  – векторы выборок размера  $N \times 1$ , соответствующих отсчетам дискретного преобразования Фурье (ДПФ)  $i$ -го изображения звезды,  $\vec{w}$  – вектор отсчетов ДПФ фона неба и шума ПЗС матрицы размера  $N \times 1$ ,  $\vec{x}$  – вектор ДПФ отсчетов наблюдений изображения звезд, фона неба и шума ПЗС матрицы.

Будем считать, что все отсчеты являются случайными величинами, подчиняющимися многомерному нормальному закону с условной плотностью распределения вероятностей (ПРВ), определяемой в случае, если проверка гипотез осуществляется по  $k$  независимым кадрам изображения, выражением

$$p[\vec{x}|H_i] = (2\pi)^{-lk/2} |\mathbf{K}_{xi}|^{-k} \exp \left\{ -0,5 \sum_{j=1}^k (\vec{x}_j - \vec{m}_{ij})^T \mathbf{K}_{x,ij}^{-1} (\vec{x}_j - \vec{m}_{ij}) \right\} = \\ = (2\pi)^{-lk/2} |\mathbf{K}_{xi}|^{-k} \exp \left\{ -0,5 (\vec{x} - \vec{m}_i)^T \mathbf{K}_{x,i}^{-1} (\vec{x} - \vec{m}_i) \right\}, \quad (2)$$

где  $M[\cdot]$  означает операцию вычисления математического ожидания (МОЖ) от выражения в скобках;  $\vec{m}_i = M[\vec{x}|H_i]$ ,  $M[\vec{s}_i + \vec{w}] = M[\vec{s}_i] + M[\vec{w}]$  – условное МОЖ вектора  $\vec{x}$  в случае истинности гипотезы  $H_i$ ,  $i = \overline{1, r}$ ,  $\vec{x}^T = (\vec{x}_1^T, \dots, \vec{x}_k^T)$ ;  $\vec{m}_i^T = (\vec{m}_{i1}^T, \dots, \vec{m}_{ik}^T)$ ;  $\mathbf{K}_{xi} = [\mathbf{K}_{xij}]_{j=1}^k$  – блочная матрица, элементами которой являются матрицы  $\mathbf{K}_{xij} = M[(\vec{x} - \vec{m}_{ij})(\vec{x} - \vec{m}_{ij})^T]$ ;  $|\mathbf{K}_{xi}|$  – детерминант матрицы  $\mathbf{K}_{xi}$  вектора  $\vec{x}$ .

Решение задачи многоальтернативного обнаружения (1) может быть получено в результате формирования логарифмов отношений правдоподобия для проверки парных гипотез  $H_i$  и  $H_j$  для  $\forall i \neq j$

$$\ln \Lambda_{ij}[\vec{x}] = \ln p[\vec{x}|H_i] - \ln p[\vec{x}|H_j], \quad \forall i, j = \overline{1, r} \quad (3)$$

и выбора наибольшего в случае использования критерия Байеса и выполнения условия, при котором стоимость правильных решений равна нулю, а неправильных – одинакова.

Упрощение обработки достигается в результате выполнения предварительной фильтрации вектора отсчетов  $\vec{x}$  в фильтре  $\mathbf{U}$ , частотная характеристика которого связана с  $\mathbf{K}_{xi}$  соотношением

$$\mathbf{K}_{xi} = \mathbf{U}_i \mathbf{\Lambda}_i \mathbf{U}_i^T. \quad (4)$$

Матрица, обратная  $\mathbf{K}_{xi}$ , может быть записана следующим образом:

$$\mathbf{K}_{xi}^{-1} = \mathbf{U}_i^T \mathbf{\Lambda}_i^{-1} \mathbf{U}_i. \quad (5)$$

Подставим (4) и (5) в (2) и учтем следующее свойство детерминанта произведения матриц  $|\mathbf{R}| = |\mathbf{ABC}| = |\mathbf{A}||\mathbf{B}||\mathbf{C}|$ . В результате получим

$$p[\vec{x}|H_i] = (2\pi)^{-lk/2} |\mathbf{U} \mathbf{\Lambda}_i \mathbf{U}^T|^{-k} \exp \left\{ -0,5 \sum_{j=1}^k (\vec{x}_j - \vec{m}_{ij})^T \mathbf{U}^T \mathbf{\Lambda}_i^{-1} \mathbf{U} (\vec{x}_j - \vec{m}_{ij}) \right\} = \\ = (2\pi)^{-lk/2} |\mathbf{\Lambda}_i|^{-k} \exp \left\{ -0,5 \sum_{j=1}^k \vec{\zeta}_j^T \mathbf{\Lambda}_{i,j}^{-1} \vec{\zeta}_j \right\}. \quad (6)$$

В формуле (6)  $\vec{\zeta}_j = \mathbf{U}(\vec{x}_j - \vec{m}_{ij})$ , учтены свойства ортогональности матриц  $\mathbf{U}$  и  $\mathbf{U}^{-1}$ ;  $\mathbf{U} \mathbf{U}^T = \mathbf{U}^T \mathbf{U} = \mathbf{U}^{-1} \mathbf{U} = \mathbf{I}$ , где  $\mathbf{I}$  – единичная матрица и  $|\mathbf{U}| = |\mathbf{I}|$ .

Вектор  $\vec{\zeta}_j$  размера  $N \times 1$ , полученный в результате преобразования главных компонент

$$\vec{\zeta}_j = \mathbf{U}(\vec{x}_j - \vec{m}_{ij}), \quad (7)$$

обладает свойством ортогональности, и поэтому матрица спектральной плотности мощности вектора  $\vec{\zeta}_j$  будет иметь диагональный вид

$$M[\tilde{\zeta}_j \tilde{\zeta}_j^T] = \text{diag}[\lambda_j]_{j=1}^l = \Lambda_{ij}. \quad (8)$$

В классическом факторном анализе обычно рассматривается случай, когда и  $\Lambda_x$  – блочная матрица вида  $\tilde{\zeta}_j$ , т.е. матрица

$$\Lambda_x = \begin{bmatrix} \underbrace{\Lambda_{i1}}_{l_1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \underbrace{\Lambda_{j2}}_{l_2} \end{bmatrix}, \quad N = l_1 + l_2, \quad (9)$$

имеет  $l_1$  больших и  $l_2$  малых по величине собственных чисел. В случае, если отсчеты совокупности фона и шума были предварительно нормированы, то  $l_2$  малых по величине собственных чисел будут одинаковыми, соответствующими фону и шуму, а  $l_1$  больших могут быть как одинаковыми, так и различными и соответствуют совокупности выборок звезды, фона и шума. Метод главных факторов позволяет ограничить рассмотрение множеством  $l_1$  больших собственных чисел, отбросив  $l_2$  малых по величине собственных чисел. В такой постановке метод главных факторов позволяет определить собственные числа матрицы  $\mathbf{K}_{xi}$ . Метод можно обобщить для случая  $\vec{m}_{xz} \neq \vec{m}_{xn} \neq \vec{0}$ .

Если видимая область электромагнитных волн разбита на  $N = 7$  диапазонов: красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего, фиолетового цветов, то энергетический спектр принимаемого сигнала изображения от звезды можно оценить матрицей  $\Lambda_x$ , оцененной по выборкам, полученным в каждом из диапазонов. Например, собственные числа матрицы  $\Lambda_x$ , соответствующие желтому, зеленому, синему, были бы различными или одинаковыми, но большими по величине, а собственные числа, соответствующие красному, оранжевому, голубому и фиолетовому, – малыми одинаковыми по величине числами. Для другой звезды эти собственные числа были бы отличны от указанных выше величин.

Это позволило бы четко определить форму энергетического спектра сигнала, принимаемого от каждой из звезд при наличии фона с шумом, и осуществить распознавание различных звезд.

Хотя в литературе [5] разработаны различные числовые алгоритмы, с помощью которых можно осуществить преобразование главных факторов при полностью известной  $\mathbf{K}_{xi}$ , их применение в условиях параметрической априорной неопределенности затруднительно.

## АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГЛАВНЫХ ФАКТОРОВ

Основной задачей, решаемой в процессе распознавания изображений звезд, является создание адаптивного алгоритма, который бы позволял осуществлять преобразование главных факторов (9) в процессе астрофотометрических наблюдений при неизвестных  $\mathbf{K}_{xi}$ .

Для реализации алгоритма (3) предлагается вместо  $\mathbf{K}_{xi}$  использовать ее оценку максимального правдоподобия, полученную по  $k$  выборкам

$$\hat{\mathbf{K}}_{xi} = k^{-1} \sum_{j=1}^k \vec{x}(j) \vec{x}^T(j). \quad (10)$$

Дальнейшая обработка состоит в рекуррентном вычислении собственных чисел и собственных векторов, начиная с максимального числа, по алгоритму стохастической аппроксимации Роббинса–Монро за  $N$  шагов.

На первом шаге вычисляется первый собственный вектор, соответствующий максимальному собственному числу  $\lambda_1$  матрицы  $\hat{\mathbf{K}}_{xi}$  по формуле

$$\hat{\mathbf{U}}_1(n+1) = \hat{\mathbf{U}}_1(n) + \mu(n) \left[ \bar{\mathbf{x}}(n) \zeta_1(n) - \zeta_1(n) \zeta_1(n) \hat{\mathbf{U}}_1(n) \right], \quad (11)$$

В этой формуле  $\mu(n)$  – последовательность чисел, удовлетворяющая условиям  $\mu(n) > 0$ ,  $\sum_{n=1}^{\infty} \mu(n) = \infty$ ,  $\sum_{n=1}^{\infty} \mu^2(n) < \infty$ , а  $n$  – номер итерации.

Выполнение указанных условий гарантирует, что последовательность векторов  $\hat{\mathbf{U}}_1(n)$  сходится в среднеквадратическом к  $\bar{\mathbf{U}}_1$  при  $n \rightarrow \infty$ . Зная  $\hat{\mathbf{U}}_1(n)$ , можно оценить  $\zeta_1$ , если воспользоваться формулой

$$\zeta_1(n) = \hat{\mathbf{U}}_1^T(n) \bar{\mathbf{x}}(n) \quad (12)$$

и вычислить затем

$$\hat{\lambda}_1(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \zeta_1^2(i). \quad (13)$$

На втором шаге вычисляется вектор выборок

$$\bar{\mathbf{x}}_1(n) = \bar{\mathbf{x}}(n) - \hat{\mathbf{U}}_1(n) \zeta_1(n). \quad (14)$$

Вектор  $\bar{\mathbf{x}}_1(n)$  используется вместо  $\bar{\mathbf{x}}(n)$  для расчета по формуле (11) собственного вектора  $\hat{\mathbf{U}}_2(n)$ , соответствующего второму по величине собственному числу  $\hat{\lambda}_2$  матрицы  $\hat{\mathbf{K}}_{x_1}$ . С помощью (12) находится  $\zeta_2(n)$ , а затем, в соответствие с (14), определяется вектор  $\bar{\mathbf{x}}_2(n)$ . На третьем и остальных шагах процедуры по описанной схеме последовательно находятся все собственные векторы  $\hat{\mathbf{U}}_i(n)$  и все главные компоненты  $\zeta_i(n)$  матрицы  $\hat{\mathbf{K}}_{x_i}$ . Остается определить решающую процедуру, с помощью которой оценивается количество главных факторов  $l_1$ .

## АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ГЛАВНЫХ ФАКТОРОВ

Рассматривая форму энергетического спектра сигнала в  $l$  полосах, можно оценить величину и положение составляющих на оси частот.

Процедура оценки числа главных факторов по результатам анализа матрицы  $\hat{\mathbf{K}}_{xij}$  иногда называется оценкой эффективного ранга [5], так как на ее основании можно оценить число  $\hat{l}_1$  компонент вектора  $\bar{\mathbf{s}}_i$ ,  $i = \overline{1, r}$  по числу «больших» собственных чисел  $\hat{\lambda}_{i_1}$ ,  $1 \leq \hat{l}_1 \leq N$ . Соотношение между указанными компонентами определит их спектральные плотности мощности. В этом случае очень полезным является свойство, заключающееся в том, что при полностью известных числовых характеристиках сигналов звезд, фона неба и шума ПЗС оказывается, что

$$\text{tr}[\mathbf{K}_{xij}] = \text{tr} \Lambda_{xij} = \sum_{\omega=1}^N \lambda_{ij\omega}, \quad (15)$$

где  $\text{tr}[\cdot]$  – след матрицы, заключенной в квадратные скобки.

Заметим, что в случае, когда  $\mathbf{K}_{xij} = \Lambda_{ij}$ , т.е. присутствуют только выборки фона неба и шума, вследствие выполнения предварительной обработки, состоящей в нормировке (выравнивании выборок по величине дисперсии), все значения  $\lambda_{ij\omega}$  будут равны между собой. Если же наряду с фоном неба и шумом матрица  $\Lambda_{ij}$  будет содержать  $l_1$  больших собственных чисел, обусловленных звездой, фоном неба и шумом, и  $l_2$  одинаковых малых чисел, то большие

собственные числа содержат малые числа как часть. Поэтому только они содержат информацию об энергетическом спектре частотной выборки, принадлежащей звезде.

Поскольку  $\mathbf{K}_{xij}$  и, следовательно,  $\mathbf{\Lambda}_{ij}$  априорно неизвестны, необходимо оценивать их в течение сеансов наблюдения и использовать в качестве каталога эталонов для распознавания новых звезд.

Для оценки числа главных факторов можно использовать критерий взаимного сравнения величин  $J_q$ , определяемых выражением

$$J_q = \sum_{\mu=1}^{l_1} \hat{\lambda}_{\mu} / \text{tr}[\hat{\mathbf{K}}_{xij}], \quad 1 \leq l_1 \leq l. \quad (16)$$

Величина  $J_q$  равна доле следа матрицы  $\hat{\mathbf{K}}_{xij}$ , обусловленной первыми  $l_1$  главными компонентами. Чем ближе  $J_q$  к единице, тем меньше ошибка, получаемая за счет исключения малых  $l_2 = l - l_1$  компонент. При большом отношении сигнал – шум по каждой из составляющих этот алгоритм позволяет получить достаточно хорошие результаты.

Интуитивно понятно, что, заменяя  $\hat{\mathbf{K}}_{xij}$  на  $\hat{\mathbf{K}}_{xij}^{\varpi}$ ,  $\varpi = 2, 3, \dots$ , можно улучшить результаты проверки гипотезы о числе главных факторов. При этом критерий (16) заменяется на технически более сложный степенной алгоритм вида

$$J_q = \sum_{\mu=1}^{l_1} \hat{\lambda}_{\mu}^{\varpi} / \text{tr}[\hat{\mathbf{K}}_{xij}^{\varpi}]. \quad (17)$$

Эффективный ранг матрицы  $\hat{\mathbf{K}}_{xij}$  можно оценить и путем взаимного сравнения оценок собственных чисел  $\hat{\lambda}_{\mu}$ ,  $1 \leq \mu \leq l$ . При большом  $l$  для принятия решения о числе  $l_1$  удобно использовать статистические тесты Хартли или Кокрена [6] на равенство собственных чисел, соответствующих дисперсиям шумов  $\hat{\lambda}_{\mu}$ ,  $\mu = l_1 + 1, \dots, l$ , полученным по алгоритму (13).

Использование теста Хартли для принятия решения о числе больших собственных чисел заключается в сравнении с порогом  $\Pi$  величин  $F_{\phi}$ , определяемых по алгоритму

$$F_1 = \frac{\max[\hat{\lambda}_{l-1}, \hat{\lambda}_l]}{\min[\hat{\lambda}_{l-1}, \hat{\lambda}_l]}, F_2 = \frac{\max[\hat{\lambda}_{l-2}, \hat{\lambda}_{l-1}, \hat{\lambda}_l]}{\min[\hat{\lambda}_{l-2}, \hat{\lambda}_{l-1}, \hat{\lambda}_l]}, \dots, F_{l-1} = \frac{\max[\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2, \dots, \hat{\lambda}_l]}{\min[\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2, \dots, \hat{\lambda}_l]}. \quad (18)$$

Тогда решение о наличии  $l-1$ -го собственного числа принимается в случае, если  $F_1 > \Pi$ . Далее проверяется гипотеза о наличии  $F_2 > \Pi$ . Если она подтверждается, принимается решение о наличии  $l-2$  целых и т.д. При превышении порога  $F_{l-1}$  принимается решение о наличии одной цели.

В качестве примера на рис. 1 представлен результат принятия решения о числе главных факторов по критерию Хартли в случае, когда совокупность фона и шума представляет собой изотропное поле с выборочными оценками собственных чисел на выходах пятого, шестого и седьмого каналов фильтра, которые равны:  $\hat{\lambda}_5^2 = 1,6$ ;  $\hat{\lambda}_6^2 = 1,3$ ;  $\hat{\lambda}_7^2 = 1,1$ , а  $k = 7$  – число каналов фильтра  $\mathbf{U}$ .

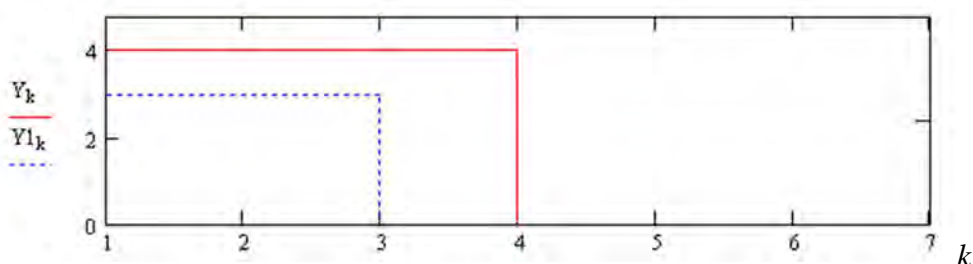


Рис. 1. Определение числа факторов по критерию Хартли

Оценки собственных чисел на выходах с первого по четвертый канал равны  $\hat{\lambda}_1^2 = 15,4$ ;  $\hat{\lambda}_2^2 = 11,6$ ;  $\hat{\lambda}_3^2 = 9,1$ ;  $\hat{\lambda}_4^2 = 8,5$ , и они упорядочены по убыванию. Объем выборки  $n$  в каждом канале равен двенадцати, параметр  $v = 12 - 1 = 11$ . Порог обнаружения выбирался исходя из уровня значимости 0,05 равным  $\Pi = 6,6$ , которым в стандартной постановке задачи проверки статистических гипотез ограничивается сверху вероятность ошибки первого рода.

В случае превышения порога обнаружения отношением оценки наибольшего собственного числа к оценке наименьшего собственного числа (20) соответствующего канала принималось решение о наличии соответствующего главного фактора, и превышение фиксировалось присвоением единицы. При отсутствии превышения порога соответствующим отношением оценок собственных чисел решению присваивалось значение нуль. Затем суммировались все присвоенные значения, полученные по каждому отношению оценок собственных чисел. В качестве наименьшей оценки собственного числа выбиралась оценка собственного числа последнего седьмого канала. Перебор остальных оценок собственных чисел осуществлялся в естественном порядке от единицы до шести. Исходные данные и полученный результат показывают, что всего имеется четыре главных фактора. Именно такое решение и принимается в результате проверки статистических гипотез.

Безусловно, как ложное уменьшение, так и ложное увеличение числа главных факторов должно непременно присутствовать при решении данной задачи. Оно обусловлено лишь отношением сигнал-шум по каждой из семи составляющих.

На рис. 1 для тех же параметров  $k$ ,  $n$ ,  $v$  и  $\Pi$ , числе главных факторов – четыре и выборочных дисперсиях  $\hat{\lambda}_5^2 = 1,6$ ;  $\hat{\lambda}_6^2 = 1,3$ ;  $\hat{\lambda}_7^2 = 1,1$  рассмотрены решения, которые принимаются системой оценки числа факторов при  $\hat{\lambda}_1^2 = 10,3$ ;  $\hat{\lambda}_2^2 = 8,6$ ;  $\hat{\lambda}_3^2 = 8,2$ ;  $\hat{\lambda}_4^2 = 7,1$ .

Минимальное отношение сигнал-шум по четвертому главному фактору составило 6,455. Поэтому в результате сравнения с порогом возникла ошибка в определении числа главных факторов: вместо четырех было принято решение о наличии только трех главных факторов.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧЕСТВА КЛАССИФИКАЦИИ

В соответствии с критерием Байеса систему распознавания можно характеризовать набором следующих вероятностей:

- 1) вероятностью правильного распознавания сигнала  $i$ -й звезды  $P_{Di}$ ,  $i = \overline{1, r}$ ;
- 2) вероятностью пропуска сигнала  $i$ -й звезды  $P_{\bar{D}i} = 1 - P_{Di}$ ,  $i = \overline{1, r}$ ;
- 3) вероятностями перепутывания  $P_{Fij}$ ,  $i, j = \overline{1, r}$ ,  $i \neq j$  сигналов, принимаемых от  $i$ -й и  $j$ -й звезд (вероятность принятия сигнала  $i$ -й звезды за сигнал, принимаемый от  $j$ -й звезды). Очевидно, в случае, когда число признаков  $r = 7$  матрица вероятностей

$$P = \begin{bmatrix} P_{D11} & P_{F12} & P_{F13} & \dots & P_{F17} \\ P_{F21} & P_{D22} & P_{F23} & \dots & P_{F27} \\ P_{F31} & P_{F32} & P_{D33} & \dots & P_{F37} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{F71} & P_{F72} & P_{F73} & \dots & P_{D77} \end{bmatrix}.$$

Рассмотрим задачу распознавания звезд по двум группам признаков: 1) координатным признакам –  $K$ ; 2) спектральным характеристикам –  $C$ ; 3) совокупности координатных и спектральных признаков.

Вероятность превышения порога распознавания совокупностью координатных признаков определим как  $p(K)$ . Вероятность превышения порога совокупностью спектральных признаков обозначим через  $p(C)$ . Поскольку признаки  $K$  и  $C$  независимы, вероятность превышения порога распознавания (правильного распознавания по совокупности признаков) определяются по формуле

$$p_D(K, C) = p(C) \cdot p(K) + p(C)[1 - p(K)] + p(K)[1 - p(C)]. \quad (19)$$

На рис. 2 изображен график вероятности правильного распознавания звезды по совокупности признаков  $p_D(K, C)$  в случае, когда вероятность правильного распознавания по траекторным признакам фиксирована и определяется как  $p(K) = 0,7$ , а вероятность распознавания  $p(C)$  по спектральным признакам увеличивается в пределах от 0 до 0,999. Очевидно, что в данном случае вероятность включает в себя распознавание одновременно по всей совокупности признаков  $p(C) \cdot p(K)$ , а также ситуации, когда распознавание происходит по одной из групп признаков, а остальные одинаковы (второе и третье слагаемые в (19)). Вероятность ложного распознавания можно определить следующим образом.

Пусть  $p(\bar{K})$  и  $p(\bar{C})$  – соответственно вероятности ложной тревоги по совокупности координатных и спектральных признаков, которые соответствуют  $p(\bar{K}) = p(\bar{C}) = 10^{-6}$ . Тогда вероятность ложного распознавания можно найти следующим образом:

$$p_F(\bar{K}, \bar{C}) = p(\bar{C}) \cdot p(\bar{K}) + p(\bar{C})[1 - p(\bar{K})] + p(\bar{K})[1 - p(\bar{C})]. \quad (20)$$

Легко посчитать, что  $p_F(\bar{K}, \bar{C}) = 2 \cdot 10^{-6}$ . В качестве критерия в данном случае выбран критерий Неймана-Пирсона.

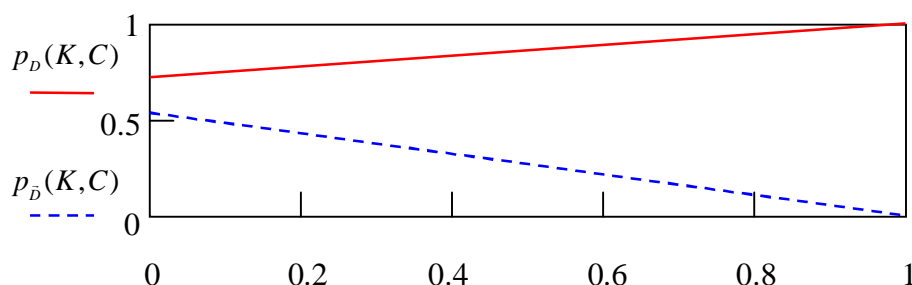


Рис. 2. Графики зависимостей  $p_D(K, C)$  – вероятности правильного распознавания звезды и  $p_{\bar{D}}(K, C)$  – вероятности пропуска (нераспознавания звезды)

Вероятность пропуска (нераспознавания звезды) определяется величиной

$$p_{\bar{D}}(K, C) = [1 - p(K)][1 - p(C)] = 0,3[1 - p(C)]. \quad (21)$$

График зависимости  $p_{\bar{D}}(K, C)$  как функции  $p(C)$  представлен на рис. 2. Очевидный результат состоит в том, что с ростом вероятности правильного распознавания вероятность пропуска уменьшается. Также следует отметить, что увеличение числа признаков позволяет повысить вероятность правильного распознавания. В этом легко убедиться, если для (19) – (21) считать, что  $p(C) = p(C1)$  представляет собой вероятность правильного распознавания по спектру красного цвета,  $p(C2)$  – вероятность правильного распознавания по спектру оранжевого и т.д. Это, однако, приведет к существенному усложнению обработки. Поэтому при-

менение метода главных факторов позволяет оценить оптимальное число факторов, необходимое для классификации звезд. К сожалению, ограниченный объем статьи не позволяет в полной мере рассмотреть все вопросы классификации звезд по их спектрофотометрической информации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Рассмотрены постановка и решение задачи классификации звезд, осуществляемой по результатам предварительной адаптивной обработки спектрофотометрической информации, полученной в процессе астрономических наблюдений на выходе преобразователя свет-сигнал.

2. Предложен адаптивный алгоритм определения главных факторов, основанный на вычислении оценок собственных чисел и собственных векторов выборочной матрицы спектральных плотностей мощности и выделения и группировке в соответствии с критерием Хартли больших по величине собственных чисел.

3. Приведенные результаты оценки числа главных факторов показали, что на их основе можно оптимизировать число признаков распознавания звезд по спектрам мощности и осуществлять классификацию на основе предложенного алгоритма многоальтернативного обнаружения.

## Список используемых источников

1. *Миронов А.В.* Основы астрофотометрии. Практические основы фотометрии и спектрофотометрии звезд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 260 с.
2. Твердотельная революция в телевидении: Телевизионные системы на основе приборов с зарядовой связью, систем на кристалле и видеосистем на кристалле / В. В. Березин, Ш. С. Фахми, Н. Н. Шипилов и др. ; под ред. А. А. Умбиталиева и А. К. Цыцулина. – М.: Радио и связь, 2006. – 300 с.
3. *Фукунага К.* Введение в статистическую теорию распознавания образов: пер. с англ. / под ред. А. А. Дорофеюка. – М.: Наука, 1979. – 363 с.
4. *Харман Г.* Современный факторный анализ. – М.: Статистика, 1972.
5. Обработка сигналов в многоканальных РЛС / А. П. Лукошкин, С. С. Каринский, А. А. Шаталов и др.; под ред. А. П. Лукошкина. – М.: Радио и связь, 1983. – 328 с.
6. *Шаталов А.А., Ястребков А.Б.* Эвристические алгоритмы разрешения-обнаружения случайных сигналов в шумах // Радиотехника и электроника. – 1991. – Т. 36, № 2. – С.419–422.

В.П. Маслов,  
*кандидат воен. наук доцент;*  
Е.Е. Исаков

## **НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ КОМАНДИРОМ НА МАНЕВР ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ВОИНСКОЙ ЧАСТИ**

В данной статье изложены отдельные аспекты принятия решения на маневр мобильных подразделений, рассмотрены 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.

Ключевые слова: маневр мобильных подразделений, решение командира на маневр, тактические свойства местности, использование геоинформационных систем.

В настоящее время в объединениях, соединениях и воинских частях Вооружённых Сил Российской Федерации множество боевых задач решается мобильными подразделениями, которые могут перемещаться до и в ходе их выполнения, используя при этом различные средства передвижения. В зависимости от преследуемых целей и этапа выполнения боевой задачи, на котором производится перемещение мобильного подразделения, различают марш и манёвр.

Манёвр – организованное передвижение войск в ходе выполнения боевой задачи в целях занятия выгодного положения по отношению к противнику и создания необходимой группировки сил и средств, а также переноса или перенацеливания (массирования, распределения) ударов и огня для наиболее эффективного поражения важнейших группировок и объектов противника [1]. Его организация и проведение осуществляются, как правило, в условиях быстро изменяющейся обстановки. От командиров различного уровня в этом случае требуется оперативное принятие решения на передвижение с учётом оказывающих значимое влияние факторов и условий тактической (оперативной) обстановки. Неверное или некорректное решение на манёвр может поставить под угрозу или даже привести к срыву выполнения боевой задачи мобильным подразделением, т.е. цена ошибки недопустимо велика.

Вырабатывая замысел манёвра, командир воинской части определяет маршрут передвижения подразделений. В зависимости от содержания боевой задачи и особенностей развития обстановки в ходе боя, определяющими факторами при выборе маршрута являются возможности средств передвижения и тактические свойства местности в районе выполнения воинской частью боевых задач.

В зависимости от характера боевой задачи и условий её выполнения мобильные подразделения комплектуются средствами передвижения различных типов. В настоящее время возможности автомобильной и другой техники по передвижению, в том числе вне дорог, достаточно широки и определяются её тактико-техническими характеристиками (ТТХ). От того, насколько полно при выработке замысла командир учитывает возможности имеющихся средств передвижения, зависит качество решения на манёвр. В свою очередь, полнота реализации возможностей боевых и транспортных средств зависит от свойств местности в районе применения и используемых методик их оценки и учёта.

Тактические свойства местности (ТСМ) – совокупность элементов местности (рельефа, гидрографии, растительного покрова, путей сообщения и др.), оказывающих влияние на боевые действия войск. К числу основных ТСМ относятся: условия защиты войск от различных

средств поражения; условия наблюдения и ведения огня, маскировки, ориентирования; возможность водообеспечения; проходимость местности [2]. В зависимости от особенностей боевого применения подразделения при планировании манёвра должны учитываться различные ТСМ. В свою очередь, они определяются характеристиками основных топографических элементов местности (ОТЭМ): рельефа, почвогрунтов, растительного покрова, гидрографии, дорожной сети и населенных пунктов. От того, насколько исчерпывающими будут учитываемые характеристики ОТЭМ, зависят возможности по определению ТСМ и, как следствие, качество решения командира на реализацию маневренных возможностей мобильного подразделения и его движения по тем или иным участкам местности. Таким образом, обоснованность решения командира на манёвр подразделения напрямую зависит от наличия в его распоряжении достаточной и достоверной информации о значениях характеристик ОТЭМ. Поэтому вопросу сбора данных, характеризующих ОТЭМ, должно быть уделено особое внимание при организации работы по планированию манёвра.

Перечень источников для получения информации, характеризующей местность в настоящее время, достаточно широк. Наиболее часто используются топографические карты. На основе анализа карт различного масштаба и содержания командир имеет возможность не только получить информацию о характеристиках ОТЭМ в районе применения, но и впоследствии отобразить на ней принятое решение. К достоинствам использования топографических карт также можно отнести простоту работы, наглядность и отсутствие необходимости применения сложных технических устройств при работе с ними. Существенными недостатками использования топографических карт в работе по планированию манёвра являются отсутствие либо усреднение для недопустимо большого участка местности значений необходимых характеристик ОТЭМ, устаревание информации вследствие естественных изменений местности, невозможность сбора данных с использованием вычислительной техники, что не позволяет достаточно оперативно оценить обстановку.

Особенностью характеристик ОТЭМ является изменение их значений под воздействием различных средств поражения, с изменением метеорологических условий, а также при проведении инженерных работ с целью улучшения ТСМ. Особо динамичные изменения местности возможны в ходе ведения боя. Осуществление оперативного их отслеживания является необходимым условием обеспечения достоверности используемой при оценках и оперативно-тактических расчетах информации. В целях получения сведений о характере и степени изменений ОТЭМ используют разведывательные данные, получаемые средствами космической, воздушной и наземной разведок. Изучение фото- и видеоматериалов позволяет оперативно получить информацию, но в ряде случаев она не является достаточно детальной для качественной оценки обстановки при планировании перемещения.

Степень детализации информации о местности, необходимой для принятия решения, безусловно зависит от типа применяемого средства передвижения, однако в любом случае значения учитываемых характеристик ОТЭМ должны быть привязаны к сравнительно малому участку местности. Такую довольно подробную информацию практически невозможно получить с помощью изучения топографических карт даже крупного масштаба.

Возможным вариантом получения информации о характеристиках ОТЭМ с требуемой степенью точности является непосредственная разведка местности в районе выполнения мобильным подразделением боевых задач. Методы ее проведения могут быть различными, в зависимости от привлекаемых сил и средств. Работа по сбору данных достаточно трудоемка, но выполнима, особенно при сравнительно небольшом по площади районе и заблаговременном ее проведении. Степень детализации информации при изучении того или иного участка, в целях снижения трудозатрат и сокращения общего объема данных, должна зависеть от интересующих (возможных) направлений перемещения мобильных подразделений при выполнении боевой задачи и возможностей транспортных средств осуществлять движение по различной местности.

Таким образом, несмотря на большой объём информации, поступающей из различных источников, непосредственное изучение местности является неотъемлемым этапом работы командира по заблаговременной подготовке мобильного подразделения к выполнению боевой задачи.

Не менее значимым является контроль изменений характеристик ОТЭМ, вызванных метеорологическими воздействиями. Влажность и плотность грунта, высота снежного покрова и характеристики других ОТЭМ и условий зачастую оказывают решающее влияние на выбор маршрута перемещения. В этой связи учёт метеорологической информации, получаемой из различных источников, в том числе средствами геофизического обеспечения, оказывает значимое влияние на решение командира при выработке замысла на маневр (марш).

Таким образом, количество данных, необходимых для объективного принятия решения командиром, в том числе на манёвр, очень велико. Такой объём информации уже практически невозможно обработать в требуемые сроки без применения вычислительных средств. Вследствие этого возникают противоречия между возросшими потоками информации и имеющимися возможностями по их обработке и использованию, которые обуславливают необходимость применения новых средств обработки. В качестве таких средств в настоящее время используются геоинформационные системы.

Геоинформационная система (ГИС) – это программно-аппаратный комплекс, осуществляющий сбор, хранение и обработку информации о пространственно распределённых объектах, имеющих координатное описание [3]. Другими словами, ГИС – это автоматизированная информационная система, предназначенная для обработки пространственно-временных данных. Для решения задач управленческого характера, касающихся применения войск, в штабах различного уровня используют геоинформационные системы военного назначения (ГИС ВН). Наиболее распространённые задачи, решаемые ГИС ВН уже в настоящем, следующие: определение зон видимости, профилирование рельефа местности, определение параметров маршрутов, анализ дорожной сети, бродов и переправ, моделирование местности, оценка местности в интересах решения задач различных видов обеспечения, сбор и анализ информации о целях и объектах противника, перемещении его подразделений и военной техники, ввод данных наблюдений, составление обзорно-географических, топографических, специальных тематических карт. Перспективным является применение ГИС и при планировании манёвра мобильного подразделения при условии реализации соответствующих методик в виде прикладных задач и достаточного информационного обеспечения. В некоторых функционально-ориентированных ГИС уже реализованы задачи по прокладыванию маршрута, однако методики, по которым производится их решение, в ряде случаев упрощены и сводятся, например, к определению кратчайшего пути исключительно в рамках существующей дорожной сети.

Для современного 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 других способах прокладывания маршрута, в том числе и по пересечённой местности, недостаточно полно учитываются характеристики грунтов, растительного покрова, рельефа и объектов гидрографии, а также их взаимное влияние на проходимость местности.

Основу всей используемой в ГИС ВН информации составляет цифровая информация о местности (ЦИМ).

Цифровая информация о местности (ЦИМ) – совокупность сведений и данных об элементах местности, представленных в цифровой форме на машинных носителях. Цифровая информация о местности является основной частью содержания цифровых и электронных карт, а также цифровых моделей местности различного предназначения [3]. Однако, как и в случае с топографическими, цифровые карты при планировании манёвра имеют схожие недостатки, которыми являются отсутствие либо усреднение для недопустимо большого участка местно-

сти значений требуемых характеристик ОТЭМ и устаревание информации вследствие произошедших изменений местности. Следовательно, одним из основных необходимых условий для применения ГИС ВН в работе командира по организации манёвра является создание цифровых карт местности путём их насыщения требуемым объёмом данных, получаемых из различных источников, в том числе по результатам проводимой разведки местности.

Таким образом, в целях совершенствования информационного обеспечения принятия решения командиром на манёвр подразделений целесообразно следующее:

- **во-первых**, для повышения достоверности и точности принимаемого решения на этапе подготовки к выполнению боевой задачи необходимо организовать работу по сбору с требуемой точностью данных о характеристиках ОТЭМ методом непосредственного изучения местности;

- **во-вторых**, в целях повышения оперативности и качества принимаемого решения, применять специальные средства обработки информации, например ГИС, при условии реализации соответствующих методик в виде прикладных задач.

### Список используемых источников

1. Боевой устав по подготовке и ведению общевойскового боя. – М.: Воениздат, 2004. – Ч.2: Батальон, рота. – 699 с.
2. Военный энциклопедический словарь. – М.: Воениздат, 2007. – 832 с.
3. Геоинформационные системы военного назначения / В.К. Утекалко, В.В. Бирзгал, Н.А. Вечер и др. – Минск: Изд-во учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь», 2004. – 254 с.

В.И. Половников,  
доктор техн. наук, профессор;  
Е.Л. Коваленко;  
И.В. Суворова

## РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ НАХОЖДЕНИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНОГО СПУТНИКА В ТЕНЕВОМ ЦИЛИНДРЕ ЗЕМЛИ В ТЕЧЕНИЕ КАЛЕНДАРНОГО ГОДА

Статья посвящена расчету времени нахождения геостационарного спутника в теневом цилиндре Земли в зависимости от положения истинного Солнца относительно плоскости экватора Земли в течение календарного года.

Ключевые слова: календарный год, экватор Земли, Южный полюс, радиус земного шара.

Геостационарным спутником (ГСС) Земли называется спутник, движущийся по круговой орбите, находящейся в плоскости экватора Земли с угловой скоростью  $\omega_{\text{ГСС}}$ , совпадающей с угловой скоростью вращения Земли вокруг своей оси  $\omega_3$ . Угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси  $\omega_3$  определяется из соотношения

$$\omega_3 = \frac{2\pi}{T_{\text{ЗВ}}}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{ЗВ}}$  – продолжительность звездных суток (времени полного оборота Земли вокруг своей оси относительно неподвижных звезд),  $T_{\text{ЗВ}} = 86164$  с;

Таким образом, период обращения ГСС ( $T_{\text{ГСС}}$ ) нам известен, поскольку он должен быть равен  $T_{\text{ЗВ}}$ . Из космической баллистики известно, что период обращения любого спутника Земли, в том числе и ГСС, определяется по формуле

$$T_{\text{ГСС}} = \frac{2\pi}{\sqrt{K}} r_{\text{ГСС}}^{3/2}, \quad (2)$$

где  $K$  – гравитационная постоянная Земли,  $K = 398602,5 \text{ км}^3/\text{с}^2$ ;

$r_{\text{ГСС}}$  – радиус круговой орбиты ГСС.

Зная, что  $T_{\text{ГСС}} = T_{\text{ЗВ}}$ , из (2) определим радиус круговой орбиты ГСС:

$$\sqrt{r_{\text{ГСС}}^3} = \frac{T_{\text{ГСС}} \cdot \sqrt{K}}{2\pi}. \quad (3)$$

Возведя обе части (3) в квадрат, получим

$$r_{\text{ГСС}} = \sqrt[3]{\frac{T_{\text{ГСС}}^2 \cdot K}{4\pi^2}}. \quad (4)$$

Подставив в выражение (4)  $T_{\text{ГСС}} = 86164$  с,  $K = 398602,5 \text{ км}^3/\text{с}^2$ ,  $\pi = 3,141593$ , получим, что радиус круговой геостационарной орбиты

$$r_{\text{ГСС}} = 42164,2 \text{ км}.$$

Поскольку плоскость геостационарной орбиты совпадает с плоскостью экватора Земли, то угол наклона этой плоскости к плоскости экватора Земли (наклонение плоскости)  $i_{\text{ГСС}} = 0$ .

Радиус геостационарной орбиты  $r_{\text{ГСС}}$  больше радиуса земного шара  $R_3 = 6371$  км в  $\frac{r_{\text{ГСС}}}{R_3} = 6,618145$  раз.

Угловая скорость перемещения ГСС по орбите

$$\omega_{\text{ГСС}} = \frac{2\pi}{T_{\text{ГСС}}} = 0,00072921 \left[ \frac{1}{\text{с}} \right] = 0,004178 \left[ \frac{\text{град}}{\text{с}} \right].$$

Если радиус орбиты  $r_{ГСС}$  умножить на  $\omega_{ГСС}$ , то получим линейную скорость перемещения ГСС вдоль орбиты

$$V_{ГСС} = r_{ГСС} \cdot \omega_{ГСС} = 3,07466 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Поскольку угловая скорость  $\bar{\omega}_{ГСС}$  совпадает по величине и направлению с угловой скоростью вращения Земли вокруг своей оси  $\bar{\omega}_3$ , то ГСС, двигаясь по своей орбите, постоянно «висит» над одной и той же точкой поверхности Земли, имеющей координаты: широта точки  $\psi=0$  (точка находится на экваторе Земли), долгота точки  $\lambda=\lambda_0$  ( $0<\lambda\leq 2\pi$ ), где  $\lambda_0$  – точка выведения ГСС на орбиту.

Длительность нахождения ГСС в тени Земли зависит от времени года. Это связано с тем, что тень Земли, представляющая в первом приближении теневой цилиндр радиусом  $R_3 = 6371$  км, ось которого перемещается относительно плоскости экватора на углы от 0 до  $23^\circ,4$ , если Солнце находится в Северном полушарии Земли с 21 марта (точка осеннего равноденствия, иначе ТОР). Если Солнце находится в Южном полушарии Земли с 21 сентября до 21 марта следующего года, то ось теневого цилиндра Земли перемещается относительно плоскости экватора на углы от  $0^\circ$  до  $-23^\circ,4$ .

Экстремальные углы склонения Солнца  $\delta_\odot$  находятся 21 июня в Северном полушарии (точка летнего солнцестояния (ТЛС),  $\delta_{\odot\text{ТЛС}} = 23^\circ,4$ ) и 22 декабря (точка зимнего солнцестояния (ТЗС),  $\delta_{\odot\text{ТЗС}} = -23^\circ,4$ ) каждого календарного года (рис.1)

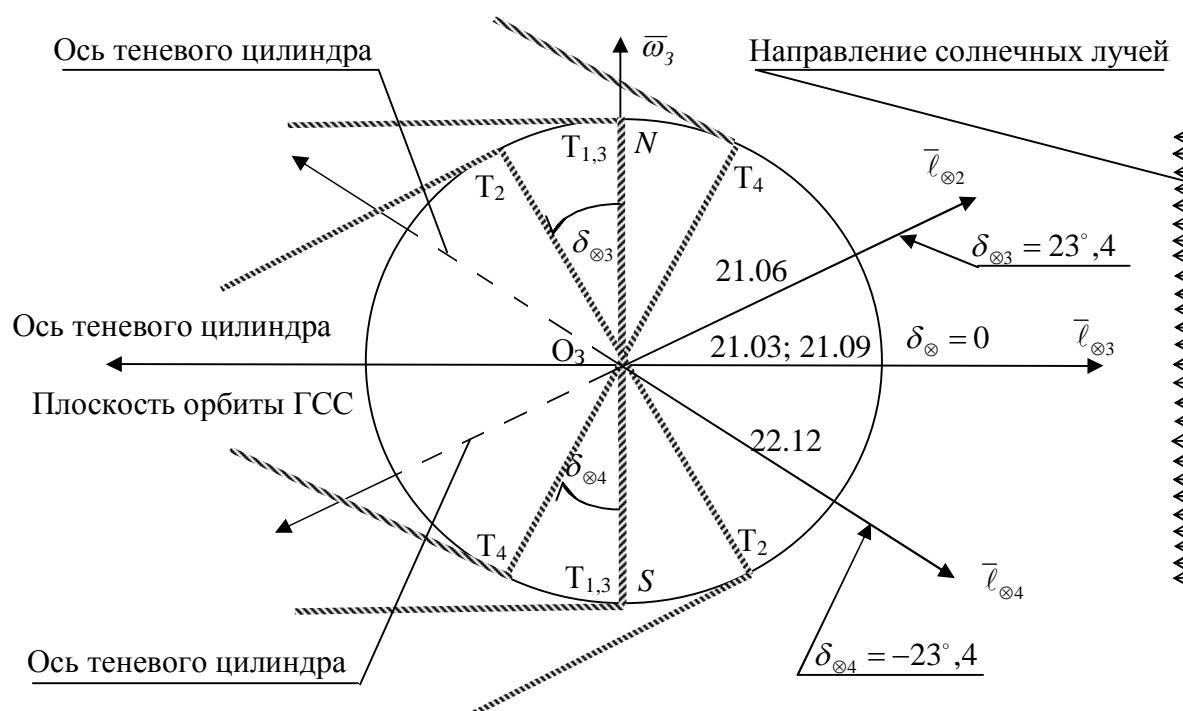


Рис.1. Положения теневого цилиндра Земли в точках равноденствий и солнцестояний

На рис. 1 обозначены:

$N, S$  – соответственно Северный и Южный полюс Земли;

$O_3$  – центр земного шара;

$\bar{l}_{\odot 1,3}, \bar{l}_{\odot 2}, \bar{l}_{\odot 4}$  – единичные векторы направлений «центр Земли – центр Солнца» в точках ТВР, ТОР, ТЛС и ТЗС;

$T_{1,3}, T_2, T_4$  – положения терминатора (границы дня и ночи на поверхности Земли в ТВР, ТОР, ТЛС и ТЗС;

$\vec{\omega}_3$  – вектор угловой скорости вращения Земли вокруг полярной оси.

Как видно из рис. 1, экватор Земли на протяжении всего года находится в теневом цилиндре Земли, Северный полюс Земли находится в теневом цилиндре Земли с 21.09 по 21.03 следующего года, а Южный полюс находится в тени с 21.03 по 21.09 каждого календарного года.

Несмотря на то, что ГСС передвигается в плоскости орбиты, совпадающей с плоскостью экватора Земли, он не находится круглый год в теневом цилиндре Земли за счет того, что радиус геостационарной орбиты  $r_{ГСС}$  в 6,62 раза больше радиуса земного шара  $R=6371$  км.

Поясним вышеизложенное на примере геометрических соотношений на рис.2.

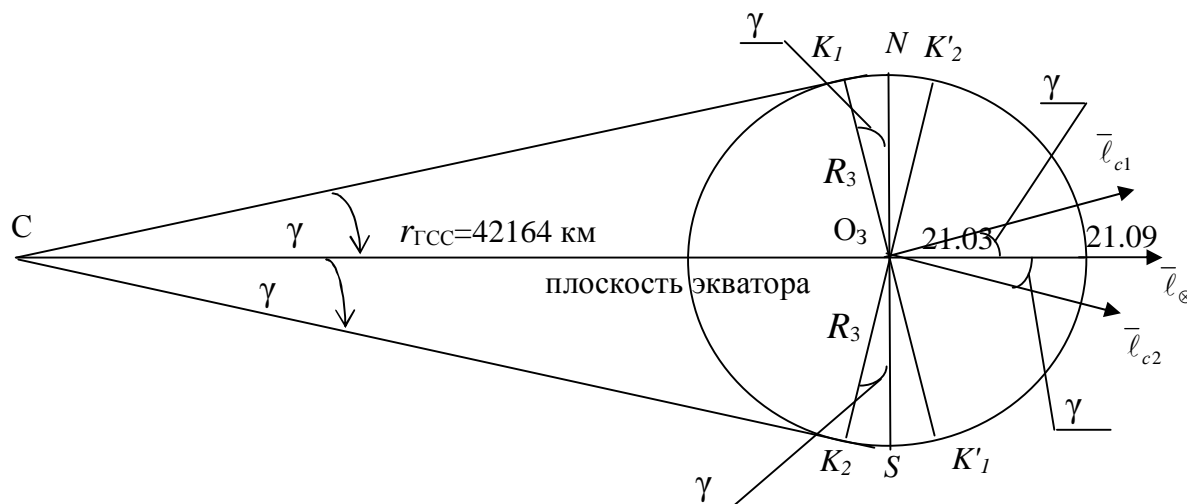


Рис.2. К расчету времени нахождения в тени ГСС

Из точки С (точка стояния ГСС) проведем касательные  $СК_1$  и  $СК_2$  к земному шару радиусом  $R_3=6371$  км, в результате получим два прямоугольных треугольника  $\triangle CO_3K_1=\triangle CO_3K_2$  (рис.2). Поскольку гипотенуза  $CO_3=42164$  км, а катеты  $O_3K_1=O_3K_2=6371$  км, то в любом из этих треугольников определим угол

$$\gamma = \arcsin \frac{R_3}{r_{ГСС}} = 8^\circ,69,$$

при этом угол  $K_1O_3N$  равен углу  $K_1O_3S$ , а оба этих угла равны  $\gamma$ , что следует из геометрических соотношений на рис.2, где  $S$  и  $N$  – соответственно Южный и Северный полюс Земли.

Если через центр Земли (точку  $O_3$ ) провести диаметры  $K_1K'_1$  и  $K_2K'_2$  (рис.2), то они будут не чем иным, как терминаторами, отклоненными от полюсов Земли на угол  $\gamma = \pm 8^\circ,69$ . Поскольку максимальные значения отклонения плоскости терминаторов от полюсов Земли составляют угол  $\delta_\odot = \pm 23^\circ,4$  (см. рис.1), то из этого следует, что ГСС будет постоянно освещен солнечными лучами, если  $|\delta_\odot| > \gamma$ , и, наоборот, ГСС будет попадать в теневой цилиндр Земли, если  $|\delta_\odot| < \gamma$ .

Таким образом, ГСС будет попадать в теневой цилиндр Земли при  $0 \leq \delta_\odot \leq \gamma$ , если Солнце передвигается в Северном полушарии от точки весеннего равноденствия (ТВР), где  $\delta_\odot = 0^\circ$ , до точки летнего солнцестояния (ТЛС,  $\delta_\odot = \pm 23^\circ,4$ ) и совершать обратное движение от ТЛС до точки осеннего равноденствия (ТОР,  $\delta_\odot = 0^\circ$ ). Аналогичная картина попадания ГСС в теневой цилиндр Земли будет наблюдаться при движении Солнца в Южном полушарии от ТОР ( $\delta_\odot = 0^\circ$ ) до точки зимнего солнцестояния (ТЗС), где  $\delta_\odot = -23^\circ,4$  (см. рис.1), и от

ТЗС до ТВР. Максимальное время нахождения ГСС в теневом цилиндре Земли будет в датах 21.03 (ТВР) и 21.09 (ТОР) и составит величину

$$\Delta t_{\max} = \frac{2\gamma}{360} \cdot T_{\text{ЗВ}} = 4160 \text{ с} \approx 1 \text{ ч } 09 \text{ мин.}$$

Минимальное время нахождения ГСС в теневом цилиндре Земли  $\Delta t_{\min}=0$  при условии, что  $|\delta_{\odot}| = \gamma = \pm 8^{\circ}, 69$ .

Если из Астрономического ежегодника определить даты  $D_j(\gamma)$ , в которых  $|\delta_{\odot}| = \gamma$  относительно дат осеннего и весеннего равноденствия, то получим отрезки времени в датах  $\Delta D_1 = D_1(\gamma) - D_{\text{ТВР}}$ ,  $\Delta D_2 = D_{\text{ТОР}} - D_2(\gamma)$ ,  $\Delta D_3 = D_3(\gamma) - D_{\text{ТОР}}$  и  $\Delta D_4 = D_{\text{ТВР}} - D_4(\gamma)$ , в которых ГСС будет попадать в теневой цилиндр Земли в течение календарного года.

Время нахождения ГСС в теневом цилиндре Земли необходимо знать для того, чтобы учитывать зарядку бортовых аккумуляторов ГСС от солнечных батарей.

### Список используемых источников

1. Астрономический ежегодник (на любой год) / ИТА РАН. – СПб., 2002.
2. Основы теории полета летательных аппаратов: учебное пособие. – МО СССР, 1990. – 199 с.

В.И. Половников,  
доктор техн. наук, профессор;  
Е.Л. Коваленко;  
И.В. Суворова

## УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА КООРДИНАТ ИСТИННОГО СОЛНЦА В ТЕЧЕНИЕ ТРОПИЧЕСКОГО ГОДА

В статье рассмотрен упрощенный метод определения координат Солнца ( $\alpha_0$  – прямое восхождение,  $\delta_0$  – склонение Солнца) во второй экваториальной системе координат с помощью простейших вычислительных средств (калькуляторов) при отсутствии Астрономического ежегодника, в котором координаты Солнца приводятся на начало каждой даты года, но при наличии бытового отрывного календаря, в котором указаны даты и время прохождения Земли через примечательные точки орбиты: точки весеннего и осеннего равноденствия и точки летнего и зимнего солнцестояния.

Ключевые слова: Солнце, зимнее солнцестояние, летнее солнцестояние, экваториальная система координат, тропический год.

Прежде чем описать метод расчета координат Солнца для любой даты года, необходимо пояснить основные физические условия движения Земли вокруг Солнца и определить основные величины, которые потребуются при расчете координат Солнца в любой дате года упрощенным методом.

Земля вращается вокруг Солнца по своей орбите со средней скоростью  $V_3=29,765$  км/с, совершая полный оборот Солнца за один тропический год, равный 365,2422 средним солнечным суткам, каждые из которых равны 24 ч, т.е. за один тропический год Земля совершает 365,2422 оборота вокруг своей оси. Полярная ось Земли, вокруг которой вращается Земля, перпендикулярна плоскости земного экватора и одновременно имеет постоянный угол наклона  $\varepsilon=23^\circ,4$  к плоскости движения Земли вокруг Солнца (рис.1).

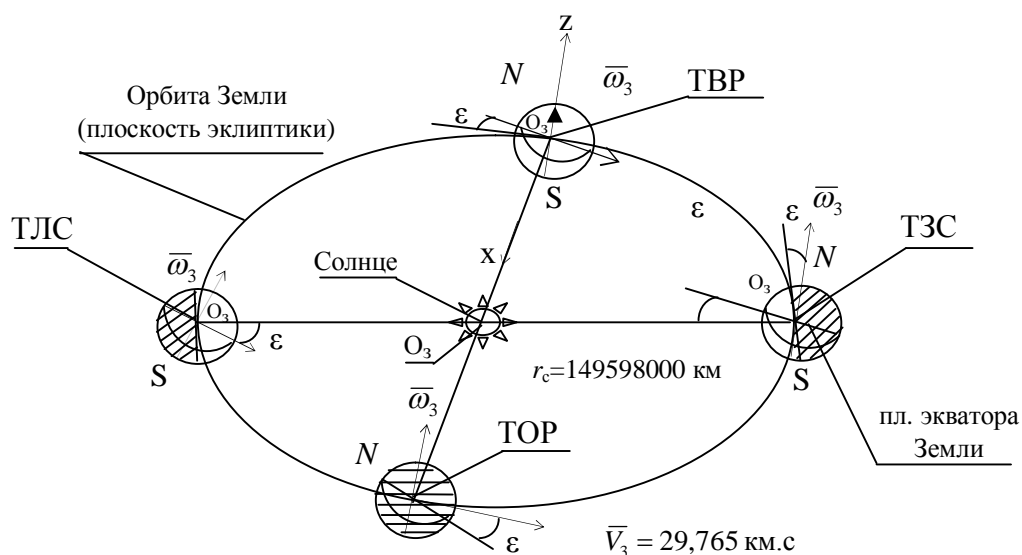


Рис.1. Движение Земли вокруг Солнца

На рис. 1 обозначены:

$N, S$  – соответственно Северный и Южный полюс Земли;

$r_c$  – среднее расстояние между центрами Земли ( $O_3$ ) и Солнца ( $O$ );

$\bar{V}_3$  – средняя линейная скорость движения Земли вокруг Солнца;

$\bar{\omega}_3$  – угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси;

$\varepsilon$  – угол между плоскостью эклиптики и плоскостью экватора Земли;

$\Upsilon$  – точка весеннего равноденствия;

$X, Y, Z$  – оси абсолютной геоцентрической экваториальной системы координат (АГЭСК);

ТВР – точка весеннего равноденствия;

ТЛС – точка летнего солнцестояния;

ТОР – точка осеннего равноденствия;

ТЗС – точка зимнего солнцестояния

Тропический год начинается с момента прохождения Землей точки весеннего равноденствия (ТВР), обозначенной знаком  $\Upsilon$  (рис.1), в которой все широты земного шара освещены солнечными лучами в течение 12 ч, т.е. в ТВР земные сутки делятся на две равные части: день и ночь равны между собой и по времени равны 12 ч, откуда и название «равноденствие».

Аналогично поверхность Земли освещается и в точке осеннего равноденствия (ТОР), в которой день и ночь на Земле делятся в течение 12 ч (см. рис.1).

Точки летнего (ТЛС) и зимнего (ТЗС) солнцестояния примечательны тем, что в Северном полушарии Земли при прохождении ТЛС продолжительность дня максимальна (для широты Санкт-Петербурга день продолжается 18 ч), а продолжительность ночи минимальна (для Петербурга – 6 ч) в тропическом году, в то время как в точке зимнего солнцестояния (ТЗС) продолжительность дня и продолжительность ночи в Северном полушарии Земли меняются местами (для Санкт-Петербурга в ТЗС ночь длится 18 ч, а день – 6 ч).

Заметим, что эти замечательные точки Земля проходит приблизительно в одни и те же даты каждого года: ТВР  $\approx$  21 марта; ТЛС  $\approx$  21 июня; ТОР  $\approx$  21 сентября; ТЗС  $\approx$  22 декабря (рис.2).

Истинное Солнце, двигаясь в плоскости эклиптики, не имеет постоянной угловой скорости  $\dot{\Omega}_{ист}$ , поскольку орбита Земли вокруг Солнца не является круговой, а имеет эксцентриситет  $e_\Theta = 0,016751$ , большую полуось  $\alpha_\Theta = 149,598$  млн.км, долготу перигелия  $L_{\Pi\Theta} = 102^\circ,08$ .

Фокальный параметр орбиты Земли имеет величину

$$p_\Theta = \alpha_\Theta (1 - e_\Theta^2) = 149,556 \text{ млн.км},$$

радиус перигелия орбиты Земли равен

$$r_{\Pi\Theta} = \frac{p_\Theta}{1 + e_\Theta} = 147,0921 \text{ млн.км},$$

а радиус афелия орбиты Земли определяется как

$$r_{A\Theta} = \frac{p_\Theta}{1 - e_\Theta} = 152,1039 \text{ млн.км}.$$

Поскольку долгота афелия

$$L_{A\Theta} = L_{\Pi\Theta} + 180^\circ = 282^\circ,08,$$

то получаем, что в перигелии  $L_{\Pi\Theta} = 102^\circ,8$  Земля перемещается с максимальной скоростью (а значит, и скорость перемещения истинного Солнца в плоскости эклиптики в окрестности

перигелии максимальна ( $\dot{\Omega}_{\text{ист пер}} = \dot{\Omega}_{\text{ист max}}$ ), а в районе афелия скорость перемещения истинного Солнца минимальна ( $\dot{\Omega}_{\text{ист Аф}} = \dot{\Omega}_{\text{ист min}}$ ).

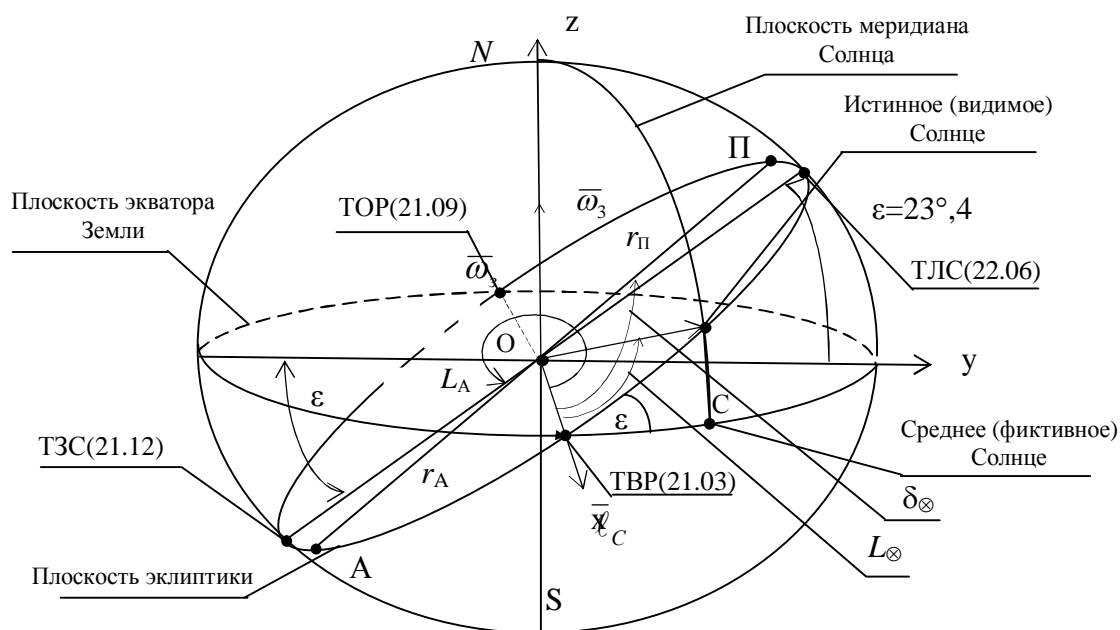


Рис. 2. Движение истинного и среднего Солнца в АГЭСК

Текущий номер даты в году  $D$  определяется по номеру месяца и дате в месяце в соответствии с табл. 1 или непосредственно из календаря на текущий год.

Таблица 1

Номера дат в году

Наименование месяца	Я	Ф	М	Ап	М	Ин	Ил	Ав	С	О	Н	Д
Номер месяца в году	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Номер даты на 0 <sup>h</sup> md 1-го числа месяца $D_M$	0	32	60, 25	90, 25	120, 25	151, 25	181, 25	212, 25	243, 25	273, 25	303, 25	334, 25

В соответствии с табл. 1 текущая дата года, обозначенная числом в месяце (Ч) и номером месяца (например, 21.02), будет определяться в виде

$$D = D_M + Ч, \quad (1)$$

где  $D_M$  – номер даты на начало месяца;

Ч – число в месяце.

В нашем примере дата 21.02 будет соответствовать  $D=31+21=52$ .

Проекция единичного вектора  $\bar{l}_\odot$  (см. рис.1) в текущем номере даты года на оси абсолютной геоцентрической системы координат (АГЭСК) XYZ будем определять по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \ell_{\odot x} &= \cos \alpha_\odot \cos \delta_\odot, \\ \ell_{\odot y} &= \sin \alpha_\odot \cos \delta_\odot, \\ \ell_{\odot z} &= \sin \delta_\odot, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $\alpha_{\odot}, \delta_{\odot}$  – соответственно прямое восхождение и склонение Солнца во второй экваториальной системе координат.

Учитывая, что прямое восхождение Солнца 21 марта в начале любого тропического года равно нулю ( $\alpha_{\odot 21.03} = 0$ ), текущее значение прямого восхождения Солнца в дате года равно

$$\alpha_{\odot}(D) = \frac{2\pi}{365,25}(D - D_0), \quad (3)$$

где  $D_0$  – номер даты в году, соответствующий 21 марта,  $D_0 = 60,25 + 21 = 81,25$ ;

$\frac{2\pi}{365,25}$  – средняя угловая скорость изменения прямого восхождения Солнца за одни сутки.

Если  $D < D_0$ , то прямое восхождение Солнца определится как

$$\alpha_{\odot}(D) = 2\pi + \frac{2\pi}{365,25}(D - D_0). \quad (4)$$

Учитывая, что склонение Солнца ( $\delta_{\odot}$ ) равно нулю в точках весеннего (21.03) и осеннего (21.09) равноденствия, а в точках летнего (21.06) и зимнего (22.12) солнцестояния соответствует значениям  $\delta_{\odot 21.06} = 23^{\circ},4$  и  $\delta_{\odot 22.12} = -23^{\circ},4$ , текущее значение склонения Солнца в номере даты определится в соответствии со следующими соотношениями:

$$\delta_{\odot}(D) = \frac{23,4 \cdot \pi}{180 \cdot 91}(D - D_0), \quad (5)$$

если  $81,25 \leq D < 172,25$ , т.е. даты находятся между 21 марта и 21 июня, а  $D_0 = 81,25$ ,

$$\delta_{\odot}(D) = \frac{23,4 \cdot \pi}{180} - \frac{46,8 \cdot \pi}{180 \cdot 182,5}(D - D_1), \quad (6)$$

если  $172,25 \leq D < 353,25$ , т.е. даты находятся между 21 июня и 22 декабря, а  $D_1 = 172,25$  соответствует 21 июня

$$\delta_{\odot}(D) = -\frac{23,4 \cdot \pi}{180} + \frac{23,4 \cdot \pi}{180 \cdot 91}(D - D_2), \quad (7)$$

если  $D \geq D_2 = 353,25$

$$\delta_{\odot}(D) = -\frac{23,4 \cdot \pi}{180} + \frac{23,4 \cdot \pi}{180 \cdot 91}(D + 365,25 - D_2), \quad (8)$$

если  $0 < D < 81,25$ .

Таким образом, прямое восхождение и склонение Солнца в начале любой даты тропического года, которая привязана к бытовому календарю года, определены.

### Список используемых источников

1. Астрономический ежегодник (на любой год) / ИТА РАН. – СПб., 2002.
2. Основы теории полета летательных аппаратов: учебное пособие. – МО СССР, 1990. – 199 с.

В.И. Сучков,  
*кандидат техн. наук доцент;*  
В.А. Чикуров,  
*кандидат техн наук доцент;*  
Д.В. Попов

## ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЗНАНИЙ О МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ

Знание является формой существования и систематизации результатов познавательной деятельности человека. Поэтому в широком смысле знания образуют субъективный образ реальности в форме понятий и представлений, проверенной информации, позволяющей решать поставленные задачи. Главное же отличие знаний от данных состоит в их структурности и активности, появление в базе новых фактов или установление новых связей может стать источником изменений в принятии решений.

Ключевые слова: обработка телеметрируемых параметров, процедурные знания, база данных, база знаний, синтез рабочей программы, квазидинамический подход, искусственный интеллект.

Современная тенденция развития специального программного обеспечения автоматизированных комплексов обработки информации (СПО АКОИ) динамично изменяется и по своей структуре приближает их к системам искусственного интеллекта [1].

*Искусственный интеллект* – это одно из направлений информатики, целью которого является разработка аппаратно-программных средств, позволяющих пользователю-непрограммисту ставить и решать свои, традиционно считающиеся интеллектуальными задачи, общаясь с ЭВМ на ограниченном подмножестве естественного языка.

Представление знаний и разработка систем, основанных на знаниях, основное направление в области изучения искусственного интеллекта. Оно связано с разработкой моделей представления знаний, созданием баз знаний, образующих ядро систем искусственного интеллекта. Ядро искусственного интеллекта включает в себя модели и методы извлечения знаний, которое связано с инженерными познаниями.

Знание в теории искусственного интеллекта и экспертных систем является совокупностью информации и правил вывода о мире, свойствах объектов, закономерностях процессов и явлений, а также правилах использования их для принятия решений. Знания фиксируются в образах и знаках естественных и искусственных языков.

В специальном программном обеспечении АКОИ обработки телеметрической информация знания представляются в виде загрузочных модулей.

Возможности по описанию этого вида информации и достигнутый уровень реализации этих возможностей представлены в [2].

Вопросы представления и использования знаний в СПО обработки ТМИ и станут основными в данной статье.

Существуют десятки моделей (или языков) представления знаний для различных предметных областей. Большинство из них может быть сведено к следующим категориям:

- производственные модели;
- семантические сети;
- фреймы;
- формальные логические модели.

Структуризация или формализация знаний основана на различных способах представления знаний. В современных системах популярным является способ использования фактов и правил. Это гарантирует наиболее естественный способ описания процессов в предметной области. Правила обеспечивают формальный способ представления рекомендаций, указаний, стратегий. Они подходят в тех случаях, когда предметные знания возникают из опытных (эмпирических) ассоциаций, накопленных при решении задач в предметной области.

Знания подразделяются на *декларативные* и *процедурные*. Далее в статье будут рассмотрены процедурные знания, представляющие интерес по сути своего представления. Процедурные – это знания, которые управляют данными. Чтобы изменить процедурные знания необходимо внести изменения на программном уровне.

Процедурные знания или продукционные модели представления знаний основываются на правилах, позволяющих представить знания в виде предложений типа «Если . . . , то . . . » или «условие - действие». Именно такой модели соответствуют знания в виде организационных, служебных и функциональных модулей, используемых для организации и реализации процессов обработки ТМИ в СПО АКОИ.

Существует ряд подходов к организации использования указанных знаний в процессе синтеза СПО технического объекта [3].

1. Стационарный подход. Он применяется тогда, когда множество технических объектов, телеметрическая информация которых подвергается обработке, крайне ограничено, сами объекты являются однотипными, а процесс обработки составляется из решений типовых стандартных задач, как это реализовано, например в СПО АКОИ Prizma [3]. При таком подходе стационарные и динамические компоненты представляют собой единую совокупность модулей в виде подпрограмм или процедур и включаются в состав программных компонентов специального программного обеспечения технического объекта (СПО ТО).

Достоинством такого подхода является невысокая стоимость, надежность создаваемого СПО ТО и высокая оперативность проводимой им обработки ТМИ. Однако стационарный подход практически полностью исключает перенастройку СПО на другой контролируемый объект. Для этого требуется иное содержание и другая организация процесса обработки ТМИ, что предполагает высокую квалификацию инженеров-программистов по организации процесса обработки ТМИ.

2. Квазидинамический подход. Он обеспечивает более высокую гибкость процесса синтеза СПО ТО. Все знания по методам организации и реализации процесса обработки ТМИ в виде загрузочных модулей, концентрируются в базе данных, а стало быть, для их коррекции и пополнения имеются стандартные для библиотек языковые средства и/или процедуры.

При обработке измерений какого-либо параметра часто предполагается использование совокупности последовательно выполняемых модулей обработки или «цепочки», «вектора» модулей. В этом случае от инженеров по методам обработки и по организации процесса обработки требуется полное знание спецификаций модулей цепочки для их взаимной настройки по управлению и по входным/выходным данным.

При этом следует учитывать, что контролируемый объект представляют сотни или тысячи телеметрируемых параметров. Знания по их обработке располагаются во внешней памяти, в виде загрузочных модулей, а СПО ТО выполняется в оперативной памяти. Это определяет объем и высокую сложность работы по взаимной настройке знаний (модулей) в составе выполняемого СПО ТО.

Для выполнения модулей обработки требуются исходные данные, что предопределяет необходимость настройки модулей относительно данных или необходимость включения данных в тело самих модулей. Все вместе это также предполагает, высокую квалификацию инженеров-программистов по организации процесса обработки ТМИ.

Общим недостатком рассмотренных подходов является то, что инженеру по методам обработки при описании некоторого знания о методе обработки какого-либо ТМ параметра необходимо обеспечить согласование этого знания со всеми предыдущими и всеми последующими знаниями, связанными как с процессом обработки этого параметра, так и со знаниями по организации его обработки.

Если в процессе подготовки знаний о методах реализации и организации обработки измерений телеметрируемых параметров участвует группа инженеров по методам обработки, то рассмотренные обстоятельства предполагают их тесное взаимодействие друг с другом, т.е. данные специалисты имеют знания по всему контролируемому объекту и работают последовательно. Это замедляет сам процесс подготовки знаний и противоречит тому объективному обстоятельству, что инженеры по методам обработки специализируются по отдельным системам контролируемого объекта.

3. Динамический подход. Он является наиболее гибким, обеспечивающим настройку синтезируемого СПО ТО на обработку ТМИ практически любого контролируемого объекта, накопление и систематизацию знаний необходимых для обработки информации. Такой подход предполагает, что знания (модули) в загрузочном виде концентрируются в файле с библиотечной организацией. Но представление этих знаний (модулей) инженером по методам обработки должно удовлетворять ряду условий, выполнение которых гарантирует:

- независимую (автономную) и параллельную работу инженеров по методам обработки от других специалистов в рамках описания знаний по обработке телеметрируемых параметров бортовой системы, за которую они отвечают;
- автоматическую настройку модулей друг относительно друга по управлению и по используемым данным в соответствии с указаниями инженера по организации процесса обработки;
- минимизацию расхода ресурсов ЭВМ, реализующей СПО ТО, при переходе от выполнения одного модуля обработки к другому.

Библиотечная организация знаний, в которой реализуются подобные условия, переводит базу знаний и отражает возможность использования и накопления высококачественного опыта на уровне мышления квалифицированных специалистов.

Реализация такого подхода к организации знаний предполагает наличие некоторого механизма формирования запросов к базе знаний, который называется заданием на обработку, и механизма (программы), управляющего выбором необходимых знаний, который называется машиной вывода, для формирования СПО ТО или рабочей программы обработки. Взаимоотношение перечисленных компонентов показано рис.1.

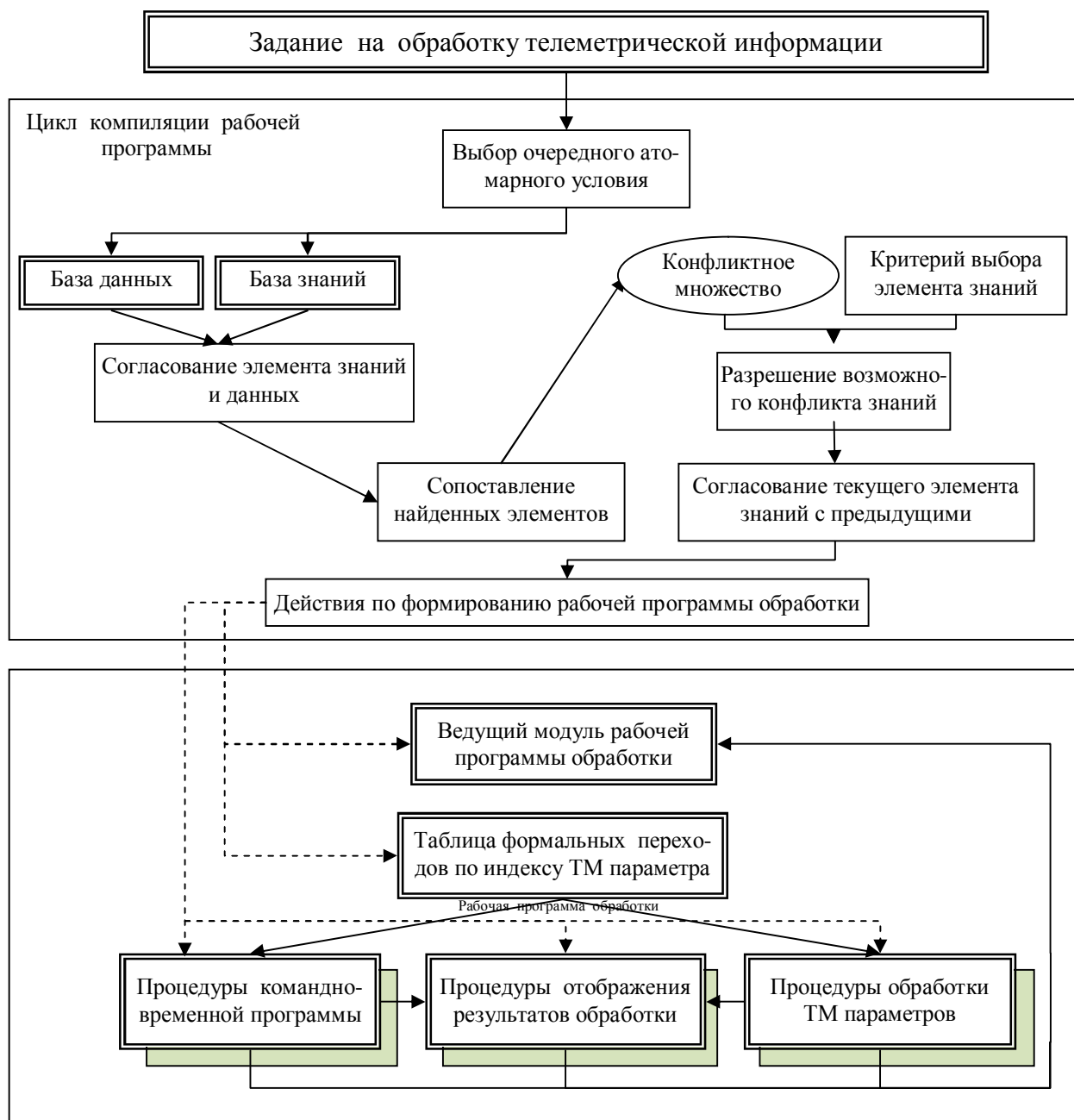


Рис.1. Схема использования знаний при синтезе рабочей программы

#### 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 имени А.Ф. Можайского, 2011. – 93 с.

А.А. Ардашов,  
*кандидат техн. наук;*  
А.А. Сасункевич,  
*кандидат техн. наук;*  
И.В. Фоминов,  
*кандидат техн. наук*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ К ЗАДАЧЕ КАЛИБРОВКИ БЛОКА МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ**

Рассмотрено применение метода наименьших квадратов к задаче калибровки блока акселерометров, входящего в состав бесплатформенной инерциальной навигационной системы малогабаритного подвижного объекта. Предложенный подход позволяет определять значения смещений нуля, коэффициентов преобразования, а также погрешностей, обусловленных несовпадением осей чувствительности блока акселерометров с осями приборной системы координат.

Ключевые слова: калибровка, блок акселерометров, метод наименьших квадратов.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время для решения задач определения параметров движения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов, наземных транспортных средств, использующихся в составе комплексов вооружения Войск ВКО, широко применяются бесплатформенные инерциальные навигационные системы, включающие микромеханические акселерометры, гироскопы (датчики угловых скоростей) и специализированные вычислители. Широкое распространение инерциальных микромеханических модулей применительно к решению задач навигации малогабаритных подвижных объектов (МПО) обусловлено их низкой стоимостью, высокой надежностью и помехозащищенностью. Однако им также присущ недостаток, относящийся ко всем инерциальным навигационным системам - неограниченный рост погрешностей навигации и определения ориентации МПО с течением времени.

Основной вклад в ошибку определения параметров движения МПО вносят инструментальные погрешности, обусловленные как несовершенством технологии изготовления элементов микромеханических акселерометров и гироскопов, так и отклонением значений их характеристик при изменении условий эксплуатации. Как правило, эти погрешности имеют случайный априорно-неопределенный характер.

Точность преобразования акселерометрами ускорения в электрический сигнал определяется величинами смещения нуля, погрешностью масштабного коэффициента, а также температурным и временным дрейфом этих параметров [1]. В акселерометрах, изготовленных по МЭМС технологии, необходимо выделять также погрешность, обусловленную несовпадением осей чувствительности акселерометров с осями приборной системы координат.

Шум, содержащийся в выходном сигнале акселерометра, включает внешний фоновый шум и шум собственно датчика. Уровень шума определяет разрешающую способность акселерометра.

Значения предельных погрешностей акселерометров корректируются при их изготовлении. Остаточная погрешность может быть уменьшена путем калибровки и хранением калибровочных констант в памяти микропроцессора. В настоящее время известны два способа калибровки акселерометров: первый способ основан на калибровке акселерометра на вибростенде с эталонным датчиком ускорения, а второй - с использованием расчетного значения силы тяжести в точке проведения эксперимента.

Предлагаемый подход к калибровке блока акселерометров (БА) с использованием силы тяжести рассмотрен на примере калибровки трехкоординатного измерителя линейных ускорений, представляющего собой блок из трех однокоординатных маятниковых акселерометров, оси чувствительности которых взаимно ортогональны. Случайные погрешности акселерометров, как правило, подчинены нормальному закону распределения. Для проверки этого положения были проведены предварительные испытания в статическом положении БА типа ADXL335 фирмы *Analog Devices* [2]. Результаты испытаний, приведенные на рис. 1, подтвердили справедливость этого положения. На рис. 1 показаны полученная экспериментальным путем гистограмма и график плотности нормального закона распределения, который построен на основе значений математического ожидания, среднеквадратического отклонения, полученных в результате измерения проекции кажущегося ускорения одного из акселерометров. Сравнительный анализ гистограммы и приведенной кривой показывает их совпадение.

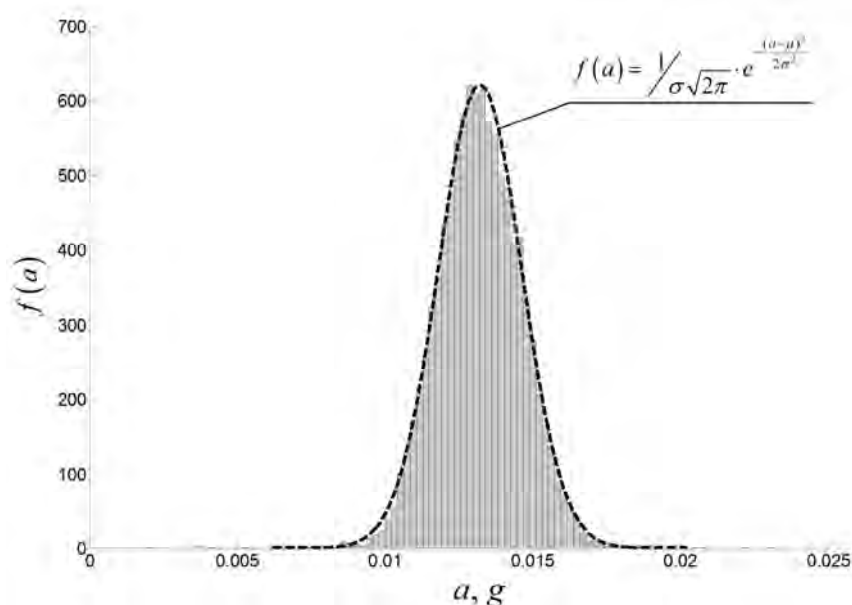


Рис. 1. Гистограмма распределения погрешностей измерения акселерометра

Как видно из рис. 1, центр гистограммы смещен относительно нулевого положения. Это свидетельствует о наличии погрешности смещения нуля акселерометра, ось чувствительности которого была перпендикулярна вектору измеряемого гравитационного ускорения.

Нормальный закон распределения погрешностей БА, а также предположение о независимости их друг от друга дают основания для применения метода наименьших квадратов (МНК) к задаче оценивания характеристик БА и уточнения вектора измеряемого кажущегося ускорения [3].

## МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ БЛОКА АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

Рассмотрим существо методики калибровки БА, состоящего из триады ортогонально расположенных акселерометров.

Для коррекции измеренных значений проекций вектора кажущегося ускорения необходимо решить матричное уравнение:

$$\mathbf{a}_{3 \times 1}^* = \mathbf{S}_{3 \times 3} \cdot \delta \mathbf{K}_{3 \times 3} (\mathbf{a}_{3 \times 1} - \Delta \mathbf{a}_{3 \times 1}) \quad (1)$$

где  $\mathbf{a}_{3 \times 1}^*$  – вектор уточненного кажущегося ускорения;

- $\mathbf{a}_{3 \times 1}$  – вектор измеренного кажущегося ускорения;  
 $\mathbf{S}_{3 \times 3}$  – матрица направляющих косинусов углов между осями чувствительности акселерометров и осями приборной системы координат;  
 $\Delta \mathbf{a}_{3 \times 1}$  – матрица, элементы которой представляют смещения нулей акселерометров;  
 $\delta \mathbf{K}_{3 \times 3}$  – диагональная матрица, элементы которой являются значениями отклонений фактических масштабных коэффициентов  $\mathbf{K}_\phi$  от их расчетных значений  $\mathbf{K}_p$ :

$$\delta \mathbf{K}_{3 \times 3} = \frac{\mathbf{K}_\phi}{\mathbf{K}_p}.$$

В скалярном виде уравнение (1) имеет вид

$$\begin{bmatrix} a_x^* \\ a_y^* \\ a_z^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{xx} & s_{xy} & s_{xz} \\ s_{yx} & s_{yy} & s_{yz} \\ s_{zx} & s_{zy} & s_{zz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta k_x & 0 & 0 \\ 0 & \delta k_y & 0 \\ 0 & 0 & \delta k_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_x - \Delta a_x \\ a_y - \Delta a_y \\ a_z - \Delta a_z \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Задача калибровки сводится к определению элементов матриц  $\mathbf{S}_{3 \times 3}$ ,  $\delta \mathbf{K}_{3 \times 3}$  и  $\Delta \mathbf{a}_{3 \times 1}$ . Определить значения элементов этих матриц можно через определение элементов калибровочной матрицы  $\mathbf{X}_{4 \times 3}$ , которая входит в обобщенное матричное уравнение

$$\mathbf{a}_{1 \times 3}^* = \mathbf{w}_{1 \times 4} \cdot \mathbf{X}_{4 \times 3}, \quad (3)$$

где  $\mathbf{w}_{1 \times 4}$  – вектор измеренного кажущегося ускорения, дополненный до размерности  $1 \times 4$ ,

$$\mathbf{w}_{1 \times 4} = [a_x \quad a_y \quad a_z \quad 1].$$

Для определения элементов матрицы  $\mathbf{X}_{4 \times 3}$  необходимо получить результаты измерений с выходов БА, соответствующих априорно известным значениям кажущегося ускорения. Априорные значения в лабораторных условиях могут быть получены при известном значении гравитационного ускорения  $g$  в месте проведения калибровки. Для этой цели используют специальное прецизионное метрологическое оборудование, позволяющее обеспечить высокоточное горизонтирование поверхности, на которой располагается БА, для формирования направления вектора гравитационного ускорения относительно осей чувствительности акселерометров.

Калибровка может быть выполнена в 6 стационарных положениях БА, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

### Стационарные положения для калибровки БА

№ п/п	Направление осей приборного трехгранника	Расчетное значение проекций кажущегося ускорения		
		$a_x^*$	$a_y^*$	$a_z^*$
1	Ось $OX$ направлена «вверх»	$g$	0	0
2	Ось $OX$ направлена «вниз»	$-g$	0	0
3	Ось $OY$ направлена «вверх»	0	$g$	0
4	Ось $OY$ направлена «вниз»	0	$-g$	0
5	Ось $OZ$ направлена «вверх»	0	0	$g$
6	Ось $OZ$ направлена «вниз»	0	0	$-g$

В каждом стационарном положении БА необходимо произвести заданное количество измерений и зафиксировать полученные результаты в матрицах  $w_{n_i \times 4}^i$  размерностью  $n_i \times 4$ , где  $i = 1 \dots 6$  – номер стационарного положения,  $n_i$  – количество измерений в  $i$ -м стационарном положении. Наряду с результатами измерений в каждом стационарном положении необходимо сформировать матрицу априорных значений  $A_{n_i \times 3}^i$  согласно таблице 1.

Объединение результатов измерений во всех стационарных положениях представим в виде

$$w_{N \times 4} = \begin{bmatrix} w_{n_1 \times 4}^1 & w_{n_2 \times 4}^1 & w_{n_3 \times 4}^1 & w_{n_4 \times 4}^1 & w_{n_5 \times 4}^1 & w_{n_6 \times 4}^1 \end{bmatrix}^T,$$

а соответствующих им априорных значений ускорений в виде

$$A_{N \times 3} = \begin{bmatrix} A_{n_1 \times 3}^1 & A_{n_2 \times 3}^1 & A_{n_3 \times 3}^1 & A_{n_4 \times 3}^1 & A_{n_5 \times 3}^1 & A_{n_6 \times 3}^1 \end{bmatrix}^T.$$

Подстановка данных матриц в уравнение (3) образует систему  $N = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6$  уравнений, количество которых превышает число неизвестных элементов матрицы  $X_{4 \times 3}$ . Так как система уравнений переопределена, то есть количество независимых уравнений больше количества искомых переменных, то система имеет множество решений. При этом применение метода наименьших квадратов позволяет найти некоторое среднее решение, которое минимизирует ошибку решения уравнения (3).

Количество результатов измерений для каждого положения выбирается испытателем для каждого случая индивидуально из соображений обеспечения необходимого качества калибровки и располагаемого времени на ее проведение.

В соответствии с МНК [3] обобщенная калибровочная матрица  $X_{4 \times 3}$  может быть найдена путем решения матричного уравнения

$$X_{4 \times 3} = \left[ w_{N \times 4}^T w_{N \times 4} \right]^{-1} w_{N \times 4}^T A_{N \times 3}^* . \quad (4)$$

Таким образом, измеренные БА значения вектора кажущегося ускорения могут быть уточнены согласно уравнению (3). Данные уточненные значения могут использоваться для дальнейших вычислений при решении навигационных задач.

Если предположить, что оси чувствительности акселерометров ортогональны по отношению друг к другу, то фактические значения характеристик БА могут быть найдены из обобщенной калибровочной матрицы следующим образом.

Произведем преобразование выражения (2):

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} a_x^* \\ a_y^* \\ a_z^* \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} s_{xx} & s_{xy} & s_{xz} \\ s_{yx} & s_{yy} & s_{yz} \\ s_{zx} & s_{zy} & s_{zz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta k_x & 0 & 0 \\ 0 & \delta k_y & 0 \\ 0 & 0 & \delta k_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_x - \Delta a_x \\ a_y - \Delta a_y \\ a_z - \Delta a_z \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} \delta k_x \cdot s_{xx} & \delta k_y \cdot s_{xy} & \delta k_z \cdot s_{xz} \\ \delta k_x \cdot s_{yx} & \delta k_y \cdot s_{yy} & \delta k_z \cdot s_{yz} \\ \delta k_x \cdot s_{zx} & \delta k_y \cdot s_{zy} & \delta k_z \cdot s_{zz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta k_x \cdot s_{xx} & \delta k_y \cdot s_{xy} & \delta k_z \cdot s_{xz} \\ \delta k_x \cdot s_{yx} & \delta k_y \cdot s_{yy} & \delta k_z \cdot s_{yz} \\ \delta k_x \cdot s_{zx} & \delta k_y \cdot s_{zy} & \delta k_z \cdot s_{zz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\Delta a_x \\ -\Delta a_y \\ -\Delta a_z \end{bmatrix}. \quad (5) \end{aligned}$$

Введем обозначение

$$\begin{bmatrix} \Delta a_x^* \\ \Delta a_y^* \\ \Delta a_z^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta k_x \cdot s_{xx} & \delta k_y \cdot s_{xy} & \delta k_z \cdot s_{xz} \\ \delta k_x \cdot s_{yx} & \delta k_y \cdot s_{yy} & \delta k_z \cdot s_{yz} \\ \delta k_x \cdot s_{zx} & \delta k_y \cdot s_{zy} & \delta k_z \cdot s_{zz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta a_x \\ \Delta a_y \\ \Delta a_z \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Тогда выражение (5) примет вид

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} a_x^* \\ a_y^* \\ a_z^* \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \delta k_x \cdot s_{xx} & \delta k_y \cdot s_{xy} & \delta k_z \cdot s_{xz} \\ \delta k_x \cdot s_{yx} & \delta k_y \cdot s_{yy} & \delta k_z \cdot s_{yz} \\ \delta k_x \cdot s_{zx} & \delta k_y \cdot s_{zy} & \delta k_z \cdot s_{zz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\Delta a_x^* \\ -\Delta a_y^* \\ -\Delta a_z^* \end{bmatrix} = \\
&= \begin{bmatrix} \delta k_x \cdot s_{xx} & \delta k_y \cdot s_{xy} & \delta k_z \cdot s_{xz} & -\Delta a_x^* \\ \delta k_x \cdot s_{yx} & \delta k_y \cdot s_{yy} & \delta k_z \cdot s_{yz} & -\Delta a_y^* \\ \delta k_x \cdot s_{zx} & \delta k_y \cdot s_{zy} & \delta k_z \cdot s_{zz} & -\Delta a_z^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \\ 1 \end{bmatrix}.
\end{aligned} \quad (7)$$

Если (7) переписать в виде

$$\begin{bmatrix} a_x^* & a_y^* & a_z^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x & a_y & a_z & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta k_x \cdot s_{xx} & \delta k_y \cdot s_{yx} & \delta k_z \cdot s_{zx} \\ \delta k_x \cdot s_{xy} & \delta k_y \cdot s_{yy} & \delta k_z \cdot s_{zy} \\ \delta k_x \cdot s_{xz} & \delta k_y \cdot s_{yz} & \delta k_z \cdot s_{zz} \\ -\Delta a_x^* & -\Delta a_y^* & -\Delta a_z^* \end{bmatrix} \quad (8)$$

и сравнить его с выражением (3), то можно заметить, что они однотипны, так как выражают зависимости одних и тех же параметров. Отсюда коэффициенты обобщенной матрицы  $X_{4 \times 3}$  можно выразить через коэффициенты выражения (2).

Так как матрица  $S_{3 \times 3}$  представляет из себя матрицу поворота, то данная матрица является ортогональной, а значит ее столбцы и строки образуют системы ортонормированных векторов и скалярное произведение строки на саму себя равно 1, тоже справедливо и для столбцов. Данное свойство можно использовать для определения относительной погрешности масштабных коэффициентов  $\delta K_{3 \times 3}$ .

Для примера возьмем элементы первой строки матрицы  $X_{4 \times 3}$  из выражения (8) и скалярно ее умножим на саму себя:

$$(\delta k_x \cdot s_{xx})^2 + (\delta k_x \cdot s_{yx})^2 + (\delta k_x \cdot s_{zx})^2 - \delta k_x \cdot \left[ (s_{xx})^2 + (s_{yx})^2 + (s_{zx})^2 \right] \cdot \delta k_x \cdot 1 = \delta k_x, \quad (9)$$

в результате определим погрешность масштабного коэффициента  $\delta k_x$ . Аналогичным образом можно определить относительные погрешности масштабных коэффициентов  $\delta k_y, \delta k_z$ , проведя подобные операции со второй и третьей строкой матрицы  $X_{4 \times 3}$ . Отсюда получаем следующие выражения для определения погрешностей масштабных коэффициентов:

$$\begin{aligned}
\delta k_x &= x_{11}^2 + x_{12}^2 + x_{13}^2; \\
\delta k_y &= x_{21}^2 + x_{22}^2 + x_{23}^2; \\
\delta k_z &= x_{31}^2 + x_{32}^2 + x_{33}^2.
\end{aligned} \quad (10)$$

Зная погрешности масштабных коэффициентов  $\delta k_x, \delta k_y, \delta k_z$  из выражения (8) можно определить элементы матриц  $S_{3 \times 3}$ :

$$\begin{aligned}
s_{xx} &= x_{11} / \delta k_x, & s_{xy} &= x_{12} / \delta k_x, & s_{xz} &= x_{13} / \delta k_x; \\
s_{yx} &= x_{21} / \delta k_y, & s_{yy} &= x_{22} / \delta k_y, & s_{yz} &= x_{23} / \delta k_y; \\
s_{zx} &= x_{31} / \delta k_z, & s_{zy} &= x_{32} / \delta k_z, & s_{zz} &= x_{33} / \delta k_z.
\end{aligned} \quad (11)$$

Из выражения (6) находятся погрешности смещения нулей  $\Delta a_x, \Delta a_y, \Delta a_z$ :

$$\begin{bmatrix} \Delta a_x \\ \Delta a_y \\ \Delta a_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta k_x \cdot s_{xx} & \delta k_y \cdot s_{xy} & \delta k_z \cdot s_{xz} \\ \delta k_x \cdot s_{yx} & \delta k_y \cdot s_{yy} & \delta k_z \cdot s_{yz} \\ \delta k_x \cdot s_{zx} & \delta k_y \cdot s_{zy} & \delta k_z \cdot s_{zz} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta a_x^* \\ \Delta a_y^* \\ \Delta a_z^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & x_{31} \\ x_{12} & x_{22} & x_{32} \\ x_{13} & x_{23} & x_{33} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -x_{41} \\ -x_{42} \\ -x_{43} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Таким образом, по элементам найденной обобщенной матрицы  $X_{4 \times 3}$  согласно выражениям (10) – (12) можно определить значения элементов матриц  $\delta K_{3 \times 3}$ ,  $S_{3 \times 3}$ , и  $\Delta a_{3 \times 1}$ , в чем и заключается задача калибровки БА.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ

### 1) Оценка разброса нормы показаний акселерометров

В качестве одного из критериев эффективности калибровки БА в соответствии с МНК была использована величина разброса нормы показаний акселерометров:

$$\delta a = \frac{\sigma[\|a\|]}{M[\|a\|]},$$

где  $\|a\|$  – норма показаний акселерометров в каждом положении БА относительно априорно-известного вектора гравитационного ускорения  $g$ ,

$$\|a\| = \frac{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}}{|g|};$$

$\sigma[\|a\|]$  – среднеквадратическое отклонение от нормы в шести положениях БА;

$M[\|a\|]$  – среднее значение нормы в шести положениях БА.

Очевидно, что норма  $\|a\|$  показаний акселерометров должна быть равна единице в статических условиях при любой ориентации БА относительно вектора гравитационного ускорения.

В ходе проведенных исследований было показано, что калибровка БА в соответствии с МНК позволяет существенно (на порядок) снизить разброс нормы показаний акселерометров (табл. 2).

Таблица 2

### Исследование разброса нормы показаний акселерометров до и после калибровки

Номер положения	До калибровки			После калибровки		
	$ a , g$	$M[ a ], \text{б/р}$	$\delta a, \%$	$ a , \text{м/с}^2$	$M[ a ], g$	$\delta a, \%$
1	0,753	0,670	$\pm 30,5$	0,987	1,000	$\pm 2,9$
2	0,596			1,013		
3	0,584			0,995		
4	0,727			1,002		
5	0,680			1,007		
6	0,679			0,993		

Действительно, до калибровки разброс нормы показаний акселерометра  $\delta a$  составлял  $\pm 30,5\%$ , а после калибровки –  $\pm 2,9\%$ .

### 2) Определение минимально возможного количества замеров

Для оценки количества замеров необходимого для качественного проведения калибровки, были построены графики зависимости среднего значения уточненных показаний акселеро-

метра  $M[a_j^*]$  в  $j$ -м канале ( $j \in \{x, y, z\}$ ) от количества замеров  $n$ , а также вычислены значения среднеквадратического отклонения  $\sigma[a_j^*]$  для разного количества замеров  $n$ . Результаты оценки  $\sigma[a_j^*]_n$  для  $n=10, 100, 1000, 10000$  приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Среднеквадратическое отклонение уточненных показаний акселерометров**

$n$	10	100	1000	10000
$\sigma[a_j^*]_n$	0,00238741	0,00238412	0,00238445	0,00238499

Как следует из табл. 3, количество замеров, используемых при расчете калибровочным матриц, на СКО уточненных показаний акселерометров существенно не влияет.

На рис. 2 изображены графики зависимости  $M[a_j^*](n)$  для 1-го положения (ось  $Ox$  приборного трехгранника направлена вверх).

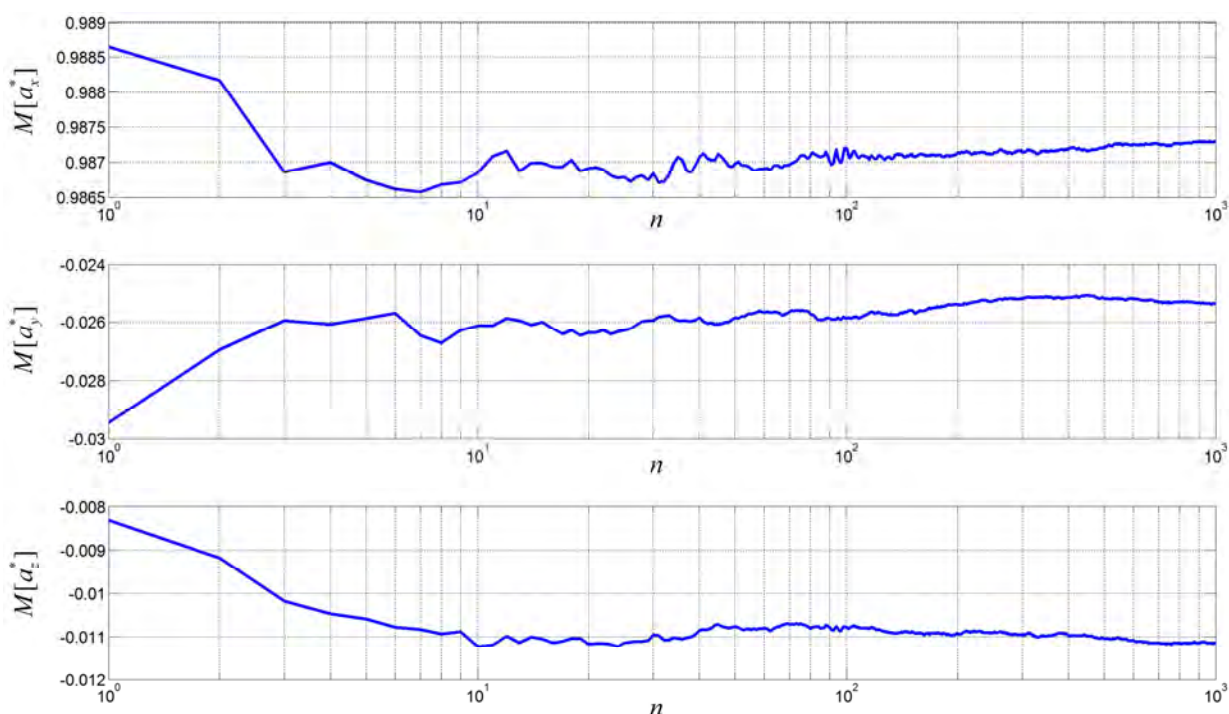


Рис. 2. Зависимость средних значений ускорения в проекциях на приборную систему координат для 1-го положения БА

Из анализа рис. 2 можно сделать вывод о необходимости проведения калибровки при значениях  $n \approx [10..1000]$ , поскольку СКО уточненных показаний акселерометров на этих интервалах по всем каналам практически не меняется.

Количество замеров измерений БА существенно влияет на время расчета калибровочной матрицы. Этот факт может служить существенным ограничением при выполнении этой задачи бортовыми средствами МПО. Вследствие этого были проведены исследования осредненных значений измерения при  $n=1000$  для расчета калибровочной матрицы  $X$ . В этом случае размерности матриц  $w$  и  $A^*$  в уравнении (4) будут следующими:

$$\dim\{w\} = 6 \times 4,$$

$$\dim\{(A^*)\} = 6 \times 3,$$

что существенно снижает количество необходимых расчетов.

В табл. 4 приведены относительные отклонения между элементами матрицы  $X$  в случае использования 1000 замеров и матрицы  $X^*$ , полученной в результате использования осредненных значений по этим замерам:

$$\delta X_{ij} = \frac{|X_{ij} - X_{ij}^*|}{X_{ij}^*}.$$

Таблица 4

#### Относительные отклонения между элементами матриц $\delta X(X, X^*)$

0,021%	0,0014%	0,0011%
0,0011%	0,0039%	0,061%
0,0007%	0,0029%	0,0073%
0,0010%	0,0028%	0,0022%

Из таблицы видно, что разница в определении коэффициентов матриц  $X$  и  $X^*$  не значительная и в процентном отношении не превышает 0,06%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задача определения фактических метрологических характеристик акселерометров имеет важнейшее значение для обеспечения требуемой точности решения навигационной задачи.

Следует отметить, что точность оценивания метрологических характеристик будут зависеть от точности юстировки осей приборной системы координат БА относительно базовых направлений и обеспечения неподвижности измерительного модуля при проведении калибровки.

Результаты калибровки блока микромеханических акселерометров показали целесообразность применения МНК при решении задачи оценивания действительных значений характеристик БА: углов отклонения осей чувствительности БА от осей приборного трехгранника, масштабных коэффициентов и смещений нулей акселерометров.

В результате экспериментальных исследований определено, что для данного типа микромеханических акселерометров необходимо использовать не менее 10 замеров показаний акселерометров в каждом из шести положений для уточнения метрологических характеристик.

Установлено, что для расчета калибровочной матрицы достаточно использовать средние значения от  $N$  замеров. При этом точность оценки метрологических характеристик практически не ухудшается.

## Список используемых источников

1. Матвеев В.В., Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем // под общ. ред. д.т.н. В.Я. Распопова. – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – 280 с.
2. [www.analog.com](http://www.analog.com)
3. Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2012. – Ч.2: Введение в теорию фильтрации. – 417 с.

В.И. Гера,  
кандидат техн. наук, доцент;  
А.А. Архипов

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПАСНОСТИ ПРИ АНАЛИЗЕ РИСКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Изложен подход по исследованию технологических систем при анализе риска их эксплуатации и проведении предварительной оценке значения идентифицированных опасностей. Подход основывается на энергоэнтروпийной концепции природы опасностей и позволяет выполнить оценку риска эксплуатации с учетом аккумулированной в технической системе энергии.

Ключевые слова: опасность, риск, технологическая система, происшествие.

### ВВЕДЕНИЕ

Анализ существующей нормативно-технической литературы [1] показывает недостаточную разработанность процесса идентификации опасности при анализе риска технологических систем. В пунктах 4.3 и 6.3.1 [1] предложен подход, позволяющий выполнить предварительную оценку значения идентифицированных опасностей, но как идентифицировать, т. е. выявить эту опасность, присущую энергонасыщенной технологической системе, ничего не сказано.

При формулировании исходных положений, относящихся к существу возникновения риска в системе «человек-машина-среда» будем исходить из представлений, суть которых состоит в сложном, стохастическом характере предпосылок происшествий, и тем, что они обуславливаются неким количеством факторов, которые проявляются в стремлении энергетических потенциалов к выравниванию, с одной стороны, и противодействию им различных защитных механизмов, с другой стороны.

Этот подход позволяет сформулировать основные положения энергоэнтропийной концепции природы опасностей [2, 3].

*Положение 1.* Любой технологический процесс, любая технологическая система связанные с выработкой, хранением, транспортированием и преобразованием энергии потенциально опасны. Ни один вид технологической системы при её функционировании не позволяет достичь абсолютной безопасности.

*Положение 2.* Опасность проявляется в результате высвобождения энергии и/или вредных веществ, аккумулированных в объекте, в систему «человек-машина-среда».

*Положение 3.* Высвобождение энергии и/или вредных веществ, в количестве, превышающем предельно допустимые значения, в систему «человек-машина-среда» приводят к происшествиям.

*Положение 4.* Происшествие является следствием появления цепи предпосылок – причин происшествий, и заключается в деструктивном воздействии вредных факторов высвобожденной энергии или вредных веществ на элементы системы «человек-машина-среда».

*Положение 5.* Причинами происшествий являются ошибочные действия обслуживающего персонала (отсутствие защиты от несанкционированных действий), неисправное состояние технологической системы и нерасчетные внешние воздействия (низкая защищенность системы «человек-машина-среда»).

Содержание вышесказанных положений представлено на рис. 1.

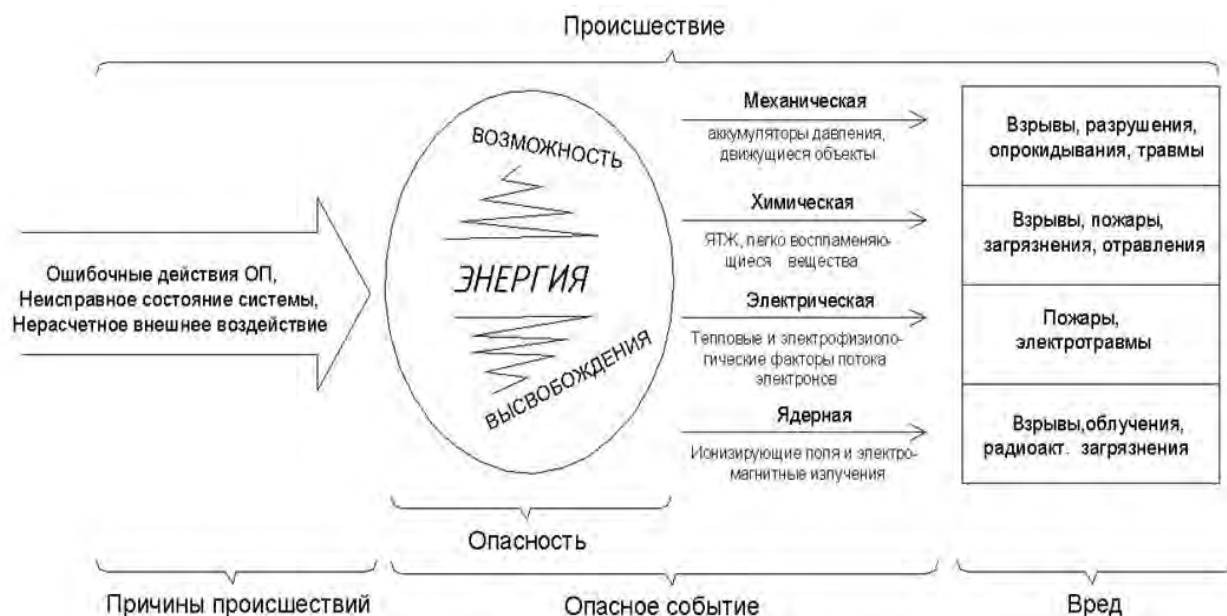


Рис. 1. Сущность природы опасности

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ПРИ АНАЛИЗЕ РИСКА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Алгоритм управления риском функционирования системы «человек-машина-среда» состоит из трех этапов: 1) морфологический системный анализ и идентификация опасностей (качественный анализ системы); 2) разработка и анализ моделей опасных процессов и их исходов (количественный анализ системы); 3) системный анализ и моделирование процесса управления безопасностью.

Совокупность приведенных этапов и их элементов и взаимосвязей может рассматриваться как структура системного анализа и моделирования опасных процессов, основанная на применении гибкой методологии прогнозирования и управления риском функционирования системы «человек-машина-среда». Данная структура представлена на рис. 2.

Первым и важным этапом системного исследования безопасности функционирования системы «человек-машина-среда» является *морфологический системный анализ и идентификация опасностей*. Важность данного этапа заключается в том, что неверно выявленные опасности или закономерности их возникновения приведут к ошибочным выводам по обеспечению безопасности эксплуатации системы.

Данный этап можно разделить на два составляющих его компонента: 1) ретроспективный анализ системы, анализ нормативных требований; 2) структурный анализ системы.

*Ретроспективный анализ системы, анализ нормативных требований* основывается:

- на анализе истории системы (становление (формирование), реконструкция, модернизация, ремонты);
- на сборе статистических данных по происшествиям, анализе их причин, сценариев развития;
- на сборе статистических данных по неисправностям (отказам) технических устройств, об ошибках обслуживающего персонала при испытаниях и в процессе эксплуатации системы;
- на анализе нормативных требований при создании системы и их сравнение с существующими требованиями.

Целью анализа является выявления противоречий между действительным и желательным состояниями исследуемых опасных процессов, определение номенклатуры свойств системы влияющих на её опасность до проведения исследования.

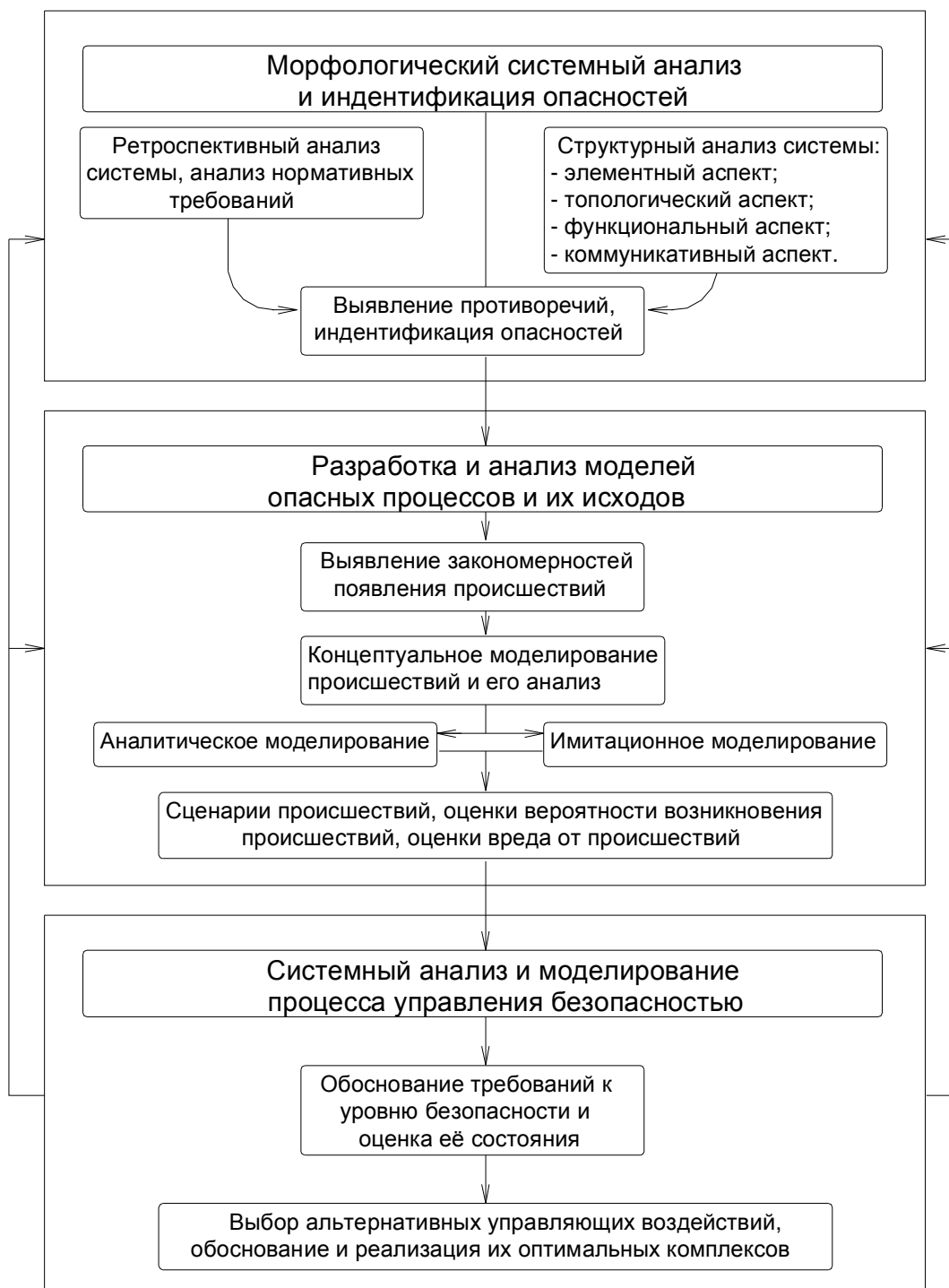


Рис. 2. Обобщенная структура анализа и управления безопасностью функционирования системы «человек-машина-среда»

Структурный анализ системы основывается на рассмотрении системы «человек-машина-среда» по следующим аспектам (граням, сторонам):

– элементному – состав компонентов системы (*оператор, техническое устройство, среда, технология* их взаимодействия), их качественная характеристика. Технические устройства анализируются с целью выявления потенциальных источников опасностей - системы, части системы или элементы, в которых аккумулирована (постоянно содержится) энергия и они могут вызвать опасности (энергетические установки, химические реакторы, емкости, сосуды под давлением и др.). Технология и обслуживающий персонал анализируется с позиций дли-

тельности и сложности выполняемых операций, уровня его профессиональной подготовленности и психофизиологических качеств. Анализ среды заключается в её эргономической оценке и анализу возможности нерасчетного воздействия среды на другие компоненты системы;

– *топологическому (архитектоника системы)* – способы связи и взаимодействие элементов системы. Технические устройства анализируются с целью выявления дополнительных источников опасностей, которые проявляются при преобразовании, трансформации и транспортировании энергии в соответствии с технологическим процессом (компрессоры, насосы, турбины, трубопроводы и запорно-регулирующая аппаратура высокого давления и др.);

– *функциональному* – задачи решаемые системой и подсистемами, процессы в системе определяющие её поведение. Технические устройства анализируются с целью выявления причин возможного несанкционированного высвобождения энергии из источников опасности (определенных ранее), обусловленного отказами сопряженного оборудования и/или элементов, ошибок обслуживающего персонала в процессе функционирования системы по заданной технологии. На данной стадии помимо причин возможного несанкционированного высвобождения энергии анализируются также причины, влияющие на результат выполнение задач системой, так как невыполнение задачи системой могут послужить причиной происшествия с системами более высокого уровня или привести к косвенному вреду (простой, потерянная прибыль и т.п.);

– *коммуникативному* – связи и взаимодействие системы с внешней средой. На данной стадии анализируются причины, влияющие на безопасность и результат выполнение задач системой, эти причины обусловлены нерасчетными воздействиями внешней среды. К таким причинам могут относиться находящиеся рядом опасные производственные объекты, внешние источники энергоснабжения перебой в работе которых может оказать влияние на безопасность и надежность исследуемой системы, ошибочные (ложные) управленческие воздействия систем более высокого уровня, возможные воздействия природного характера, воздействие вооруженного конфликта и т. п.

Целью структурного анализа является идентификация опасностей, возможных причин происшествий, выявления противоречий между действительным и желательным состояниями исследуемых опасных процессов, определение номенклатуры свойств системы влияющих на её опасность с учетом текущего технического состояния.

В процессе осуществления морфологического системного анализа и идентификации опасностей используются различные способы сбора и преобразования статистических данных, направленные на повышение информативности исследуемых признаков. Наиболее предпочтительны для этого следующие: регрессивные алгоритмы, проверка статистических гипотез, кластер-процедуры, дискриминантный и факторный анализы.

Важность данного этапа имеет определяющее значение для последующего количественного анализа и рассуждений по выработке управляющих воздействий для достижения приемлемого уровня риска.

### Список используемых источников

1. ГОСТ Р 51901.1-2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем.
2. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. – М.: Академия, 2003. – 540 с.
3. Малкин В.С. Надежность технических систем и техногенный риск. – Ростов-на-Дону: ООО «Феникс», 2010. – 342 с.

В.И. Горбулин,  
доктор техн. наук, профессор;  
Н.В. Радионов,  
доктор эконо. наук; кандидат техн. наук;  
Д.Л. Каргу,  
кандидат техн. наук, доцент;  
А.В. Немиров;  
Н.Н. Астахов

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОМПОНЕНТ ВЕКТОРА МАЛОЙ СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОКОВЫХ КОНТУРОВ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ВНЕШНИМ НЕОДНОРОДНЫМ МАНИТНЫМ ПОЛЕМ ЗЕМЛИ

В настоящей статье рассмотрены основные этапы методики, позволяющей рассчитать компоненты вектора малой силы взаимодействия токовых контуров системы электроснабжения с внешним неоднородным магнитным полем Земли.

Ключевые слова: внешнее неоднородное поле Земли, бортовая система электроснабжения, токовый контур.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сохраняется актуальность дальнейшего уточнения модели движения навигационного КА (НКА) с целью повышения точности прогнозирования движения центра масс и повышения точности эфемеридной информации. В частности, необходим более полный учет сил, воздействующих на НКА в околоземном космическом пространстве, в том числе по причине немоделируемых отклонений параметров конструкции и бортовых систем НКА от заданных значений [1].

Данная методика позволяет осуществить оценивание уровня немоделируемых ускорений, воздействующих на движение центра масс НКА с учетом особенностей функционирования системы электроснабжения (СЭС) КА.

Геометрически удобно представить процесс движения НКА по орбите в виде, указанном на рис. 1 и 2.

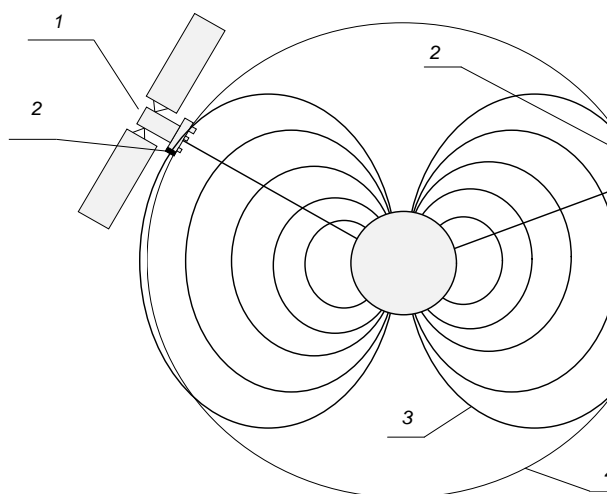


Рис. 1. Взаимодействие токового контура с магнитным полем Земли:

1 – НКА; 2 – токовый контур; 3 – линии напряженности МПЗ;

4 – орбита НКА

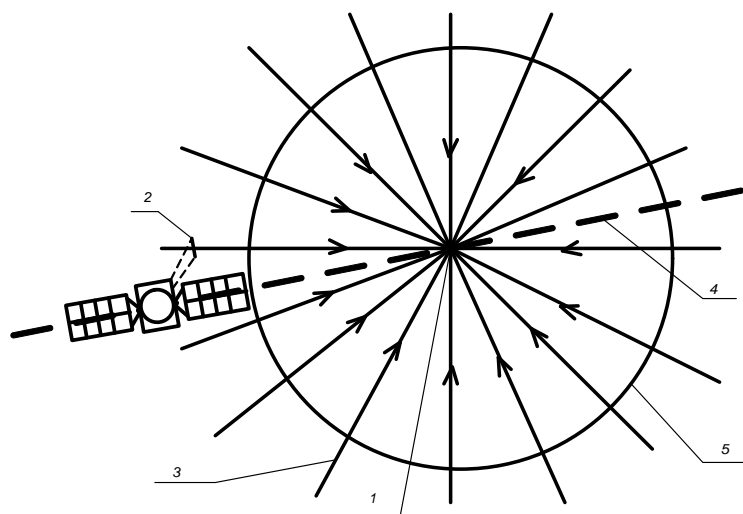


Рис. 2. Взаимодействие токового контура с МПЗ в районе Северного полюса Земли:  
 1 – Северный полюс Земли; 2 – проекция токового контура; 3 – линии напряженности МПЗ;  
 4 – орбита НКА; 5 – земной шар

На данных рисунках показаны примеры возможной ориентации токовых контуров бортовой СЭС относительно линий напряженности магнитного поля Земли. В зависимости от того, как будет размещена плоскость токового контура относительно конструкций корпуса НКА, линий напряженности МПЗ, могут изменяться углы рыскания крена и тангажа, определяющие ориентацию НКА в пространстве.

Рассмотрим математическую постановку задачи и основные этапы методики.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть задан интервал времени прогнозирования  $T_{\text{прогноз}}$  движения КА и известно множество  $K_{\text{контур}}$  токовых контуров, каждый из которых характеризуется:

- максимальным магнитным моментом  $p_{m_k}$  и его проекциями  $[p_{m_k x}, p_{m_k y}, p_{m_k z}]^T$  на оси связанной системы координат  $OXYZ$ , причем  $p_m = \sqrt{p_{m_k x}^2 + p_{m_k y}^2 + p_{m_k z}^2} \quad \forall k = 1..K_{\text{контур}}$ , где  $k$  – номер контура,  $T$  – знак транспонирования матрицы;
- двумя режимами функционирования – в замкнутом (включено) и разомкнутом состоянии (выключено);
- количеством  $L_k$  и временными интервалами  $T_{kl \text{ вкл}} = [t_{kl \text{ нач}}, t_{kl \text{ оконч}}]^T$  включения контура, причем  $T_{kl \text{ вкл}} \subseteq T_{\text{прогноз}} \quad \forall l = 1..L_k$ ,  $l$  – номер интервала  $k$ -го контура;
- координатами центра  $k$ -го контура  $[x_{k \text{ ц}}, y_{k \text{ ц}}, z_{k \text{ ц}}]^T$  в связанной системе координат  $OXYZ$ .

Требуется определить:

- проекции вектора малой силы взаимодействия каждого токового контура с внешним неоднородным магнитным полем в каждый момент времени на интервале времени, когда контур находится в замкнутом состоянии;
- проекции вектора возмущающего момента, порожденного этой малой силой, в каждый момент времени указанного интервала;
- интервалы времени, на которых одновременно находятся в замкнутом состоянии два, три и более контуров, а также результирующие значения малых сил и моментов на этих интервалах.

*Замечание.* Решение поставленной задачи позволит, в частности, получать решения для более простой задачи – рассчитывать искомые значения рассматриваемых малых сил и создаваемых ими возмущающих ускорений и моментов в любой момент времени, что необходимо для прогнозирования движения центра масс КА и углового движения вокруг центра масс. Сформулированная задача имеет более общий характер: результаты ее решения могут быть использованы, например, при оперативном планировании функционирования бортовых систем КА.

## ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ МЕТОДИКИ

*Этап 1.* Создание модели МПЗ. С этой целью создан программно-моделирующий комплекс (см. подпункт), реализующий МПЗ, описанное в работе [2].

*Этап 2.* Описание режимов задействования контуров для обеспечения функционирования бортовой системы электроснабжения с помощью ряда ступенчатых функций.

*Этап 3.* Расчет интервалов времени, на которых одновременно находятся в замкнутом (активном) состоянии два, три и более контуров. С этой целью необходимо разработать алгоритм сложения совокупности ступенчатых функций. Суть данного алгоритма состоит в следующем.

Все значения  $t_{kl \text{ нач}}$  и  $t_{kl \text{ оконч}}$  заносятся в массив  $T$ . Его размерность равна удвоенному общему количеству  $R$  интервалов задействования (замыкания) контуров:

$$R = \sum_{k=1}^{K_{\text{контур}}} 2 \cdot L_k,$$

$$T_{\langle R \rangle} = [t_{11 \text{ нач}}, t_{11 \text{ оконч}}; t_{12 \text{ нач}}, t_{12 \text{ оконч}}; \dots; t_{K_{\text{контур}} L_{K_{\text{контур}}} \text{ нач}}, t_{K_{\text{контур}} L_{K_{\text{контур}}} \text{ оконч}}]^T$$

Для присвоения элементам массива  $T$  индексов «Начало» и «Окончание» создается массив  $X$  размерности  $R$ , элементы которого равны либо нулю, если соответствующий элемент массива  $T$  является моментом начала замыкания контура, либо единице, если является моментом окончания интервала замыкания

$$X_{\langle R \rangle}^T = [1; 0; 1; 0; 1; 0; \dots; 1; 0].$$

Данные, которые заносятся в массивы  $T$  и  $X$ , дают всю необходимую информацию для построения графика задействования контуров. Однако элементы в массиве  $T$  находятся в порядке возрастания номеров контуров и интервалов их задействования, а значения моментов  $t_{kl \text{ нач}}$  и  $t_{kl \text{ оконч}}$  не отранжированы. Чтобы вычислить результирующий вектор все элементы массива  $T$  упорядочиваются в порядке возрастания (ранжируются) и совершаются соответствующие перестановки элементов в массиве  $X$ . По данным измененных массивов  $T$  и  $X$  определяются искомые показатели качества следующим образом.

Для нахождения количества  $K_{\text{замкн}}$  одновременно замкнутых контуров доступности используется массив  $X$  в рекуррентном соотношении

$$K_{\text{замкн } i} = K_{\text{замкн } i-1} + 2 \cdot X_i - 1, \quad K_{\text{замкн } 1} = 1.$$

Каждому  $i$ -му значению показателя  $K_{\text{замкн } i}$  соответствует  $i$ -й элемент массива  $T$ .

Представленный алгоритм фактически реализует операцию сложения совокупности ступенчатых функций.

*Этап 4.* Прогноз движения КА на исследуемом интервале  $T_{\text{прогноз}}$ . Для каждого момента времени  $t \in T_{\text{прогноз}}$  определение (на основе информации полученной на этапе 3) количества и номеров замкнутых контуров.

*Этап 5.* Расчет градиента внешнего неоднородного магнитного поля для центров каждого из замкнутых (активных) контуров. Этот этап целесообразно реализовать численными методами с использованием разработанного программно-моделирующего комплекса путем сме-

щения координат центров активных контуров вдоль осей связанной системы координат на малую величину и вычисления приращений напряженности внешнего магнитного поля, т. е.

$$\begin{aligned}\frac{\partial H_x}{\partial x} &\cong \frac{\Delta H_x}{\Delta x}; & \frac{\partial H_y}{\partial x} &\cong \frac{\Delta H_y}{\Delta x}; & \frac{\partial H_z}{\partial x} &\cong \frac{\Delta H_z}{\Delta x}; \\ \frac{\partial H_x}{\partial y} &\cong \frac{\Delta H_x}{\Delta y}; & \frac{\partial H_y}{\partial y} &\cong \frac{\Delta H_y}{\Delta y}; & \frac{\partial H_z}{\partial y} &\cong \frac{\Delta H_z}{\Delta y}; \\ \frac{\partial H_x}{\partial z} &\cong \frac{\Delta H_x}{\Delta z}; & \frac{\partial H_y}{\partial z} &\cong \frac{\Delta H_y}{\Delta z}; & \frac{\partial H_z}{\partial z} &\cong \frac{\Delta H_z}{\Delta z}.\end{aligned}$$

Этап 6. Расчет проекций (на оси связанной системы координат) вектора искомой малой силы по соотношениям (1), (2), (3) [3, 4]:

$$\mathbf{F} = -\text{grad } W_m = \text{grad } \mathbf{P}_m \cdot \mathbf{B} \quad (1)$$

или

$$\mathbf{F} = \nabla(\mathbf{P}_m \cdot \mathbf{B}) = \left( \frac{\partial}{\partial x} \cdot \mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \mathbf{k} \right) \cdot (p_{mx} \cdot H_x + p_{my} \cdot H_y + p_{mz} \cdot H_z) \quad (2)$$

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

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

Этап 7. Расчет проекций (на оси связанной системы координат) вектора возмущающего момента, порожденного данной силой, с учетом смещения центров контуров относительно центра масс КА.

Данная методика может быть положена в основу обеспечения расчета эфемерид с требуемыми точностными характеристиками в условиях влияния работы бортовых систем НКА на движение центра масс НКА [1].

Дальнейшие исследования целесообразно сосредоточить на следующих направлениях:

- уточнении модели распределения температурного поля по внешней поверхности КА, и разработка методик расчета сил, возникающих в результате совместного действия различных потоков излучения (Солнца, отраженных и собственных потоков излучения Земли, а также собственного теплового излучения поверхности КА) с учетом неравномерности распределения температурного поля по поверхности КА;

- разработки методик расчета сил, возникающих при взаимодействии магнитного поля Земли с элементами КА, на поверхности которых возникает электрический заряд в процессе воздействия различных факторов (радиационные пояса Земли, космическая радиация и пр.), а также при взаимодействии с элементами КА (шины, кабели и т.д.), по которым протекает электрический ток.

### Список используемых источников

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.
2. ГОСТ 25645.127-85 Магнитосфера Земли. Модель магнитного поля магнитосферных токов. – [www.electronniy\\_fond.ru](http://www.electronniy_fond.ru).
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. – Изд. 4-е, стереотипное. – М.: Физматлит: Изд-во МФТИ, 2004.
4. Савельев И.В. Курс физики. – М.: Наука, 1989. – Т. 2: Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика.
5. Описание модели и программного комплекса для расчёта параметров магнитного поля Земли в процессе полета навигационного космического аппарата / В.И. Горбулин, Н.В. Радионов, А.А. Левчук, А.В. Немиров, П.А. Комаров // Сборник трудов ВКА имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014.

Д.Н. Гула;  
В.В. Типаев,  
кандидат техн. наук

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДОЛГОВЕЧНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ СТАРТОВОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ НА СТАДИИ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИНЫ

Разработана методика расчета долговечности металлического покрытия стартового комплекса при циклическом нагружении на стадии образования трещины, предназначенная для определения долговечности по запасу циклов.

Ключевые слова: методика, долговечность, нагружение, трещина, покрытие.

Долговечность элементов конструкций при малоцикловом нагружении существенно зависит от свойств материала и условий нагружения, определяющих амплитуды упругопластических деформаций и величины односторонне накапливаемых пластических деформаций. Эти деформации, в свою очередь, определяют интенсивность накопления усталостных и квазистатических повреждений, ведущих к предельному состоянию металлические конструкции.

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод, что вопросам выбора конструкционных материалов при проектировании должно уделяться соответствующее внимание. При этом основой для выбора материалов металлического покрытия стартового комплекса должен являться анализ воздействия пусковых газодинамических нагрузок в зонах концентрации воздействия высокотемпературной газовой струи ракетного двигателя на металлическое покрытие стартового комплекса.

Предпочтение в конструкциях, работающих при малоцикловом нагружении, должно отдаваться материалам, которые при заданных условиях нагружения позволяют увеличить срок эксплуатации металлооблицовки стартового комплекса.

Состояние металлического покрытия стартового комплекса определяется его предельным состоянием, когда дальнейшая эксплуатация становится нецелесообразной вследствие недопустимого снижения значений показателей надежности.

Исходной информацией о режимах эксплуатации металлического покрытия являются статистические характеристики о величине нагрузок и цикличности нагружения.

В состав исходных данных входят следующие показатели:

- время нагружения  $\tau$ ;
- частота нагружения  $\nu$ ;
- величина упругопластической деформации металлического покрытия  $\varepsilon$ .

Для расчета долговечности используется зависимость

$$\int_0^{N_p} \frac{\delta^2}{\varepsilon^2} dN + \int_0^{N_p} \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} dN + \int_0^{N_p} \frac{\varepsilon_y \delta}{\varepsilon^2} dN = 1, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – упругопластическая деформация;  
 $\delta$  – ширина петли гистерезиса в полцикле растяжения;  
 $N_p$  – долговечность.

Применительно к концентратору напряжений зависимость в местных деформациях может быть записана следующим образом:

$$\sum_0^{N_p} \frac{K_\varepsilon \varepsilon_n^2}{\varepsilon_f^2} + \sum_0^{N_p} \frac{\Delta \varepsilon_{\max}}{\varepsilon_f} + \sum_0^{N_p} \frac{\alpha_\sigma e_y \varepsilon_n K_\varepsilon}{\varepsilon_f^2} = 1, \quad (2)$$

где  $\Delta \varepsilon_{\max}$  – деформация, накопленная в зоне максимальных напряжений в концентраторе;  
 $\varepsilon_n$  – номинальные деформации;  
 $\alpha_\sigma$  – теоретический коэффициент концентрации напряжений;  
 $K_\varepsilon$  – коэффициент концентрации деформаций в упругопластической области, где  $K_\varepsilon = f(N)$ ;  
 $\varepsilon_f$  – максимальная деформация в зоне надреза (концентратора) при статическом разрушении, которая может быть определена через деформацию однократного разрушения гладкого образца  $\varepsilon$  с учетом стесненности пластической деформации в зоне концентрации в виде.

$$\varepsilon_f = \frac{D}{I} \varepsilon, \quad \varepsilon = \ln \frac{1}{1-\psi}, \quad (3)$$

где  $I$  – коэффициент повышения первого главного напряжения в зоне концентрации;  
 $D$  – коэффициент снижения разрушающих деформаций;  
 $\psi$  – поперечное сужение.

Если нагружение материала осуществляется при высоких температурах и в процессе нагружения имеют место значительные структурные изменения, то для расчета необходимо использовать зависимость

$$\sum_0^{N_p} \sigma_p \frac{K_\varepsilon^2 \varepsilon_n^2}{\varepsilon_f^2} + \frac{\Delta \varepsilon_{\max}}{\varepsilon_f} + \frac{\alpha_\sigma e_y K_\varepsilon \varepsilon_n}{\varepsilon_f^2} = 1, \quad (4)$$

где  $\sigma_p = \sigma_p^{\text{CT}}$  – относительный циклический предел пропорциональности деформации материала.

Если рассчитываемый элемент конструкции нагружается в соответствии с (4), то в этих условиях, расчет осуществляется по зависимости

$$\sum_0^{\tau_p} \sigma_p \nu^k \frac{K_\varepsilon^2 \varepsilon_n^2}{\varepsilon_f^2} + \frac{\Delta \varepsilon_{\max}}{\varepsilon_f} + \frac{\alpha_\sigma K_\varepsilon \varepsilon_n^2}{\varepsilon_f^2} = 1, \quad (5)$$

где  $\tau$  – время нагружения;  
 $\nu$  – частота нагружения;  
 $K$  – постоянная, определяемая из эксперимента с частотой нагружения  $\nu$  в условиях однородного напряженного состояния.

На основе рассчитанных по зависимостям (4) и (5) значений долговечности выбираются коэффициент запаса по долговечности, в пределах от 8 до 10. Если осуществляется поверочный расчет, то по заданному числу циклов нагружения в условиях эксплуатации и полученному расчетом  $N_p$  определяют фактический коэффициент запаса по долговечности.

Расчет в осредненных деформациях зон концентрации напряжений может быть рекомендован для приближенного метода расчета долговечности металлического покрытия и основан на использовании зависимости

$$\sum_0^{N_p} \frac{K_\varepsilon^* \delta_n^2}{\varepsilon^2} + \sum_0^{N_p} \frac{K_\varepsilon^* \Delta \varepsilon_n}{\varepsilon} + \sum_0^{N_p} \frac{K_\sigma^* e_n \delta_n K_\varepsilon^*}{\varepsilon^2} = 1, \quad (6)$$

где  $K_\varepsilon^*$  – осредненный коэффициент концентрации деформации;  
 $\varepsilon_n$  – упругая деформация зоны, включающей надрез;  
 $\delta_n$  – ширина петли гистерезиса надрезанного образца на изменяемой базе;  
 $\Delta\varepsilon_n$  – односторонне накопленная деформация надрезанного образца на изменяемой базе.

После определения долговечности  $N_p$  по зависимости (6) определяется запас долговечности металлического покрытия по числу циклов.

$$n_N = \frac{N_p}{N}. \quad (7)$$

где  $[N]$  – заданное число циклов нагружения конструкции за весь срок эксплуатации;  
 $N_p$  – долговечность.

## ВЫВОД

Разработана методика расчета долговечности металлического покрытия стартового комплекса при циклическом нагружении на стадии образования трещины, позволяющая определить запас долговечности листов металлооблицовки стартового комплекса при воздействии высокотемпературной газовой струи ракетного двигателя по числу циклов, а также сохранить работоспособное состояние материала до наступления предельного состояния, что позволит произвести обоснованный выбор материала металлического покрытия еще на этапе проектирования стартового комплекса повысить ресурсоемкость и надежность стартового комплекса в целом.

## Список используемых источников

1. Мороз Л.С. Механика и физика деформаций и разрушения материалов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 224 с.

Н.Н. Гусев,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
Ш.Ш. Исхаков,  
*кандидат техн. наук, доцент;*

## **ОПЫТ ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ**

Статья посвящена оценке нормативной базы в области обследования технического состояния зданий и сооружений, включая строительные объекты ракетно-космических комплексов. Дан анализ технического состояния зданий и сооружений объектов космической отрасли.

Ключевые слова: обследование, техническое состояние, строительные конструкции, несущая способность.

С момента проектирования и возведения отдельных объектов космической отрасли прошло более полувека. За указанный период претерпели изменения не только нормы проектирования, но и нормы и правила обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений. Только за последние десять лет процесс обследования зданий и сооружений последовательно (а порой и параллельно) регламентировался как Федеральными законами [1–3], так и многочисленными нормативными документами [4–12] и многочисленными рекомендациями и руководствами [13–15].

Дополнительные требования к обследованию объектов наземной космической инфраструктуры регламентированы в действующих в отрасли нормативными документами, в частности, ППР-2010 «Положением по продлению назначенных показателей ресурса (срока службы) объектов наземной космической инфраструктуры» [12].

При этом отдельные документы противоречат друг другу, что затрудняет их использование при проведении обследований технического состояния объектов космической отрасли.

Необходимо учитывать, что процесс выполнения отдельных видов работ, таких как определение физико-механических характеристик материалов, параметров армирование железобетонных конструкций, степени коррозии металлоконструкций, пространственного положения конструкций, влажности теплотехнических характеристик ограждающих конструкций, параметров вибрации и т.д. регламентируются отдельными нормативными документами.

Нормативная база по определению стоимости обследовательских работ отстает от требований нормативных документов по обследованию. Многие виды работ по обследованию зданий и сооружений не имеют соответствующих расценок в Справочниках базовых цен на обмерные работы и обследования зданий и сооружений.

Большинство объектов космической отрасли в соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ [2], относятся к промышленно опасным объектам, в результате возникает необходимость в разработке дополнительных требований к специализированным экспертным организациям, выполняющим обследование, оснащению их средствами контроля, и квалификации специалистов этих организаций.

Благодаря большому опыту специалистов кафедры в области неразрушающего контроля, кафедра привлекается к обследованию различных зданий и сооружений, в том числе объектов космической отрасли. Так в 2011–2013 годах сотрудники кафедры принимали участие в обследовании:

- 27 зданий и сооружений стартовых комплексов Байконур с формированием заключений о возможности продления назначенных показателей ресурса;
- зданий площадки «О» города Байконур;

– корпуса 5 зона 5 ОАО «НИИ КП», город Москва.

В связи с непрерывным физическим и моральным износом строительных конструкций потребность в обследовании зданий и сооружений объектов космической отрасли, в определении их технического состояния, постоянно возрастает.

Об актуальности оценки технического состояния зданий и сооружений объектов космической отрасли свидетельствуют следующие факты.

Обследования технического состояния зданий и сооружений, проведенные на площадке ПУ-39 космодрома Байконур, дали следующие результаты:

– из 16 обследованных зданий техническое состояние только двух признано нормативным;

– состояние 11 зданий признано работоспособным;

– состояние трех – ограниченно-работоспособным.

На площадке ПУ-24 техническое состояние всех обследованных зданий признано ограниченно-работоспособным, причем отдельные конструкции признаны аварийными.

На основании анализа результатов обследования, техническое состояние части здания, по адресу: Москва, ул. Авиамоторная, д.53, корпус 5 зона 5 северная сторона в осях 22-27/А-Ж оценивается как аварийное или предельное.

*Аварийное состояние* – категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, включая состояние грунтов основания, характеризующаяся повреждениями и деформациями, свидетельствующими об исчерпании несущей способности и опасности обрушения и (или) характеризующаяся кренами, которые могут вызвать потерю устойчивости объекта (по классификации СП 13-102-2003 [8] и ГОСТ 31937-2011 [7]).

*Предельное состояние строительных конструкций* – состояние строительных конструкций здания или сооружения, за пределами которого дальнейшая эксплуатация здания или сооружения опасна, недопустима, затруднена или нецелесообразна либо восстановление работоспособного состояния здания или сооружения невозможно или нецелесообразно (по классификации ст.2 п.16 федерального закона Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [1]).

Опыт обследования технического состояния строительных объектов космической отрасли на основе современных нормативных документов позволяет сделать следующие выводы:

1) ввиду того, что объекты космической отрасли обладают ярко выраженной спецификой как по характеру внешних воздействий на них, так и по конструктивным решениям самих сооружений, необходимо сформировать предложения по разработке нормативных документов по обследованию зданий и сооружений космической отрасли с учетом указанной специфики. Практически все министерства и ведомства уже имеют Ведомственные нормы, регламентирующие обследование зданий и сооружений в отраслях с учетом специфики условий их эксплуатации. Настало время разработать такой нормативный документ для объектов наземной космической инфраструктуры.

2) наиболее ответственные сооружения космической отрасли в предыдущие годы оснащались системами испытаний и долговременного контроля (ИДК), а в настоящее время оснащаются структурированными системами мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС). Одной из подсистем СМИС является подсистема СМИК, осуществляющая в режиме реального времени контроль изменения состояния оснований, строительных конструкций зданий и сооружений. Действующие нормы разделяют процесс обследования и мониторинга строительных конструкций. В то время как логика подсказывает, что такие данные о состоянии конструкций как крены, напряжения, перемещения и деформации, а также параметры вибраций, получаемые системами ИДК и комплектами СМИК, в обязательном порядке должны учитываться при оценке технического состояния зданий и сооружений космической отрасли наряду с данными периодических обследований строительных объектов НКИ.

### Список используемых источников

1. Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». – М.: Кремль, 2009.
2. Федеральный закон от 21.07.1997 №116-ФЗ О промышленной безопасности опасных производственных объектов, с изменениями на 04.03.2013. – М.: Кремль, 1997.
3. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 года №190-ФЗ. – М.: Кремль, 2009.
4. РД 22-01.97 Требования к проведению оценки безопасности эксплуатации производственных зданий и сооружений поднадзорных промышленных производств и объектов (обследования строительных конструкций специализированными организациями). – М.: ГОССТРОЙ РФ, 1997. – 38 с.
5. ГОСТ Р 54257-2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету. – М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2010. – 40 с.
6. ГОСТ Р 53778-2010 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2010. – 70 с.
7. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2012. – 72 с.
8. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений. – М.: ГОССТРОЙ РФ, 2004. – 32 с.
9. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: МНТКС, 2011. – 89 с.
10. Порядок продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений на опасных производственных объектах. – Утвержден приказом Минприроды России от 30.06.2009г. №195.
11. МРД 01-2011 Методические рекомендации по обследованию и мониторингу технического состояния несущих элементов зданий и сооружений. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2012. – 110 с.
12. ППР-2010 Положением по продлению назначенных показателей ресурса (срока службы) объектов наземной космической инфраструктуры.
13. Руководство по проведению натурных обследований промышленных зданий и сооружений / ЦНИИпромзданий. – М., 1975. – 86 с.
14. Рекомендации по определению технического состояния ограждающих конструкций при реконструкции промышленных зданий / ЦНИИпромзданий. – М.: Стройиздат, 1988. – 85 с.
15. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений / НИИСК. – М.: Стройиздат, 1989. – 121 с.

А.М. Дзитоев;  
Е.В. Лаповок,  
*кандидат техн. наук;*  
С.И. Ханков,  
*доктор техн. наук*

## **АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СФЕРИЧЕСКОГО КОСМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ ПО ПОЛЯРНОЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОРБИТЕ**

Разработана приближенная аналитическая методика расчета нестационарных температур космических объектов сферической формы, движущихся по полярным эллиптическим орбитам с разной высотой апогея. Выведенные аналитические формулы позволяют проводить расчеты изменения во времени температур оболочечных сферических космических объектов с различной толщиной стенки с весьма малой погрешностью. В основу методики положена аппроксимация зависимости высоты над поверхностью Земли от времени движения по эллиптической орбите синусом, а также линеаризация уравнения нестационарного теплообмена. Для малоинерционных космических объектов получены простые расчетные формулы, а также формулы для расчетов погрешностей определения температур. Погрешность расчетов нестационарных температур сферических объектов не превышает трех градусов. Предложенная методика может быть распространена на объекты более сложной выпуклой формы.

Ключевые слова: космический объект, тепловой режим, нестационарные температуры, эллиптические орбиты, высотные зависимости стационарных температур космического объекта.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Расчеты тепловых режимов космических объектов (КО), в первую очередь космических аппаратов, составляют весьма актуальную и сложную научную и практическую проблему. Различные аспекты теории тепловых режимов КО исследовались ранее [1–10], однако разработка аналитических методов расчета нестационарных температур КО применительно к конкретным условиям их движения в околоземном космическом пространстве (ОКП) требует дальнейшего развития. Одной из сложных задач является расчет изменения во времени температур КО при его движении по эллиптической орбите. В этом случае приходится последовательно решать задачу определения изменяющейся во времени высоты над поверхностью Земли, а также коэффициентов облученности КО подсветкой Земли.

Целью данных исследований являлось упрощение математической модели и получение аналитических решений для расчетов нестационарных температур оболочечных КО сферической формы, движущихся по эллиптическим орбитам с различной высотой апогея.

Для достижения поставленной цели были проведены существенные упрощения математической модели. Эти упрощения осуществлялись поэтапно, и на каждом этапе оценивались погрешности данных упрощений. Упрощения вводились в определенной последовательности.

1. Зависимость высоты КО над поверхностью Земли от времени, полученная в результате решения дифференциального уравнения движения [4], заменялась аппроксимацией гармонической функции в виде зависимости мгновенной высоты КО от синуса отношения текущего времени к периоду обращения КО вокруг Земли.

2. Исключалось из расчетов определение комбинированного коэффициента облученности, определяющего мощность светового потока, падающего на поверхность КО отраженного Землей солнечного излучения. Это оправдано именно для полярных орбит, когда величина комбинированного коэффициента облученности, определение которой требует численного интегрирования, мала [5].

3. Осуществлялась линеаризация исходного нелинейного дифференциального уравнения нестационарного теплообмена.

4. Для малоинерционных КО упрощалось исходное уравнение нестационарного теплообмена, что обеспечивало получение простых аналитических формул.

Для определения тепловых потоков от Земли и Солнца использовались данные по тепловому балансу, приведенные в [11–13].

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА КОСМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Энергетический баланс КО выпуклой формы произвольной конфигурации при отсутствии внутренних тепловыделений на любой орбите описывается одним нестационарным дифференциальным уравнением теплообмена вида [10]

$$C_s \frac{dT}{d\tau} + \varepsilon(1 - \varphi_s) \sigma T^4 + \varepsilon \varphi_s \sigma (T^4 - T_e^4) = \varepsilon \varphi_s Q_0 + \alpha_s E (\Phi + A \varphi_k); \quad (1)$$

$$C_s = \frac{c_0 V}{S} = c_0 L; \quad c_0 = c \gamma; \quad \Phi = \frac{S_m}{S}.$$

В формуле (1) введены следующие обозначения:

- $C_s$  – поверхностная плотность теплоемкости сферического КО, Дж/(м<sup>2</sup>К);
- $T$  – температура КО, К;
- $\tau$  – текущее время, с;
- $\varepsilon$  – степень черноты поверхности КО;
- $\varphi_s$  – интегральный коэффициент облученности (ИКО) сферического КО собственным тепловым излучением Земли;
- $\sigma$  – постоянная Стефана – Больцмана,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>);
- $T_e$  – эффективная температура Земли,  $T_e = 254,8$  К [11];
- $Q_0$  – поверхностная плотность мощности, излучаемая Землей,  $Q_0 = 239$  Вт/м<sup>2</sup> [11];
- $\alpha_s$  – коэффициент поглощения солнечного излучения покрытием на внешней поверхности наружного корпуса;
- $E$  – солнечная постоянная,  $E = 1366$  Вт/м<sup>2</sup> [11];
- $\Phi$  – фактор формы, равный отношению площади миделя КО (проекции объекта на плоскость, перпендикулярную направлению на Солнце) к полной площади его поверхности;
- $A$  – альбедо Земли,  $A = 0,3$  [11];
- $\varphi_k$  – интегральный комбинированный коэффициент облученности (ИККО) внешней поверхности объекта подсветкой отраженного Землей солнечного излучения;
- $c_0$  – объемная теплоемкость материала КО, Дж/(м<sup>3</sup>К);
- $c$  – удельная теплоемкость материала КО, Дж/(кг К);
- $\gamma$  – плотность материала КО, кг/м<sup>3</sup>;
- $L$  – определяющий размер КО, м;
- $V$  – объем КО, м<sup>3</sup>;
- $S_m$  – площадь миделя КО, м<sup>2</sup>;
- $S$  – площадь внешней поверхности КО, м<sup>2</sup>.

Для проведения конкретных расчетов по формуле (1) введены ограничения на параметры траектории и конфигурацию КО. Рассматривались полярная орбита и объект в виде сферической оболочки, что соответствует значению фактора формы  $\Phi = 0,25$ . Для сферической оболочки с постоянной толщиной стенки  $\Delta$  определяющий параметр  $L = \Delta$ .

Для сферического объекта ИКО может быть представлен формулой [5]

$$\varphi_s = \frac{1}{2} \left( 1 - \sqrt{1 - \varphi_0} \right); \quad \varphi_0 = (1 + a_h)^{-2}; \quad a_h = \frac{h}{R}, \quad (2)$$

где  $\varphi_0$  – локальный коэффициент облученности для площадки, лежащей в плоскости местного горизонта;

$h$  – высота КО над поверхностью Земли;

$R$  – радиус Земли,  $R = 6371$  км.

### УПРОЩЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СЛУЧАЮ ДВИЖЕНИЯ ПО ПОЛЯРНОЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОРБИТЕ

Высота над Землей в точке апогея  $h_a$  выражается через высоту над поверхностью Земли в точке перигея  $h_p$  с помощью соотношения [4]

$$h_a = 2(a - R) - h_p, \quad (3)$$

где  $a$  – большая полуось эллипса.

Для расчетов зависимости высоты КО над поверхностью Земли в каждый момент времени при движении по эллиптической орбите используется дифференциальное уравнение движения, подробно описанное в [4]. Это уравнение решается численно, затем определяются зависимости от времени коэффициентов облученности, после чего решается дифференциальное уравнение нестационарного теплообмена вида (1). Таким образом, процедура расчетов достаточно сложна. Для существенного упрощения расчетов, весьма необходимого для практики, следует в первую очередь упростить этап расчетов зависимости от времени высоты КО над поверхностью Земли и тем самым получить простой и наглядный способ определения коэффициентов облученности.

При движении по эллиптической орбите высота КО над поверхностью Земли в приближенном описании изменяется по формуле

$$h(\tau) = h_p + (h_a - h_p) \left| \sin \left( \pi \frac{\tau}{t_0} \right) \right|. \quad (4)$$

Период обращения КО вокруг Земли  $t_0$  описывается формулой

$$t_0 = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{GM}}, \quad (5)$$

где  $M$  – гравитирующая масса Земли,  $M = 6 \cdot 10^{24}$  кг;

$G$  – гравитационная постоянная,  $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$  Н м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>.

Подставив эти значения, а также выражение для большой полуоси эллипса  $a = (r_a + r_p)/2 = (h_a + h_p)/2 + R$  в формулу (5), получим

$$t_0 = \frac{\pi}{2} \cdot 10^{-7} \sqrt{0.5(h_a + h_p + 2R)^3}. \quad (6)$$

Для расчетов периода в часах можно использовать вытекающую из (6) формулу вида

$$t_0 = 1.4136 \sqrt{\left( \frac{h_a + h_p}{2R} + 1 \right)^3}. \quad (7)$$

Например, при  $h_a = 40000$  км и  $h_p = 600$  км из (7) можно получить  $t_0 = 12,1$  часов.

Представим (1) в виде

$$C_s \frac{dT}{d\tau} + \varepsilon \sigma T^4 = 2\varepsilon \varphi_s Q_0 + \alpha_s E(\Phi + A\varphi_k). \quad (8)$$

Введем приращение температуры  $\vartheta$  и безразмерный перегрев  $\theta$ , тогда

$$\vartheta = T - T_0; \quad \theta = \frac{\vartheta}{T_0}. \quad (9)$$

При малых приращениях температуры  $\theta$ , когда  $\theta \ll 1$ , с достаточно небольшой, приемлемо малой для практических расчетов погрешностью (не более 4 % при  $\theta < 0,1$ ) выполняется условие

$$(1+\theta)^4 \approx 1+4\theta \quad (10)$$

Будем иметь в виду, что для полярной орбиты, когда КО постоянно находится в плоскости терминатора  $\varphi_k \ll 1$  [5], тогда с учетом (10) можно представить (8) в виде

$$C_s \frac{d\theta}{d\tau} + \varepsilon \sigma T_0^4 (1+4\theta) = 2\varepsilon \varphi_s Q_0 + \alpha_s E \Phi. \quad (11)$$

Введем следующие параметры:

$$t = \frac{C_s}{\varepsilon \sigma T_0^3} = \frac{c_0 \Delta}{\varepsilon \sigma T_0^3}; \quad n_s = \frac{\alpha_s}{\varepsilon}; \quad \theta_E = \frac{E}{\sigma T_e^4} = \frac{E}{Q_0}; \quad \theta^* = \left( \frac{T_e}{T_0} \right)^4; \quad (12)$$

$$n = \frac{t}{t_0}; \quad N = \frac{\tau}{t_0},$$

где  $t$  – постоянная термической инерции КО;

$\theta_E$  – отношение солнечной постоянной к собственному удельному потоку излучения с поверхности КО с температурой  $T_0$  в начальный момент времени.

С учетом введенных параметров уравнение (11) можно представить в виде:

$$\frac{d\theta}{dN} + \frac{1}{n}(1+4\theta) = D; \quad D = \frac{2\theta^*}{n}(\varphi_s + 0.5n_s\theta_E\Phi). \quad (13)$$

Итак,  $\theta_E = 5,715$ , а для сферического КО  $\Phi = 0,25$ , теперь будем проводить расчеты для случая абсолютно черной поверхности КО ( $n_s = 1$ ). В результате правая часть уравнения (13) может быть представлена в виде

$$D = \frac{2\theta^*}{n}(\varphi_s + 0.714). \quad (14)$$

Используя формулы для  $n$ ,  $t$ ,  $t_0$  из (12) и (7), получим:

$$\frac{1}{n} = B \cdot \varepsilon \cdot f^*; \quad f^* = \sqrt{\left( \frac{h_a + h_p}{2R} + 1 \right)^3}; \quad B = \frac{2.166}{c_0 \Delta}. \quad (15)$$

С учетом формулы (15) для КО с абсолютно черной поверхностью (14) примет вид

$$D = \frac{4,332}{c_0 \Delta} f^* \theta^* (\varphi_s + 0.714). \quad (16)$$

В уравнении (13) правая часть зависит от времени или долей периода обращения КО вокруг Земли, эта зависимость проявляется за счет изменения высоты орбиты в соответствии с формулой (4).

Для эллиптических орбит зависимость  $a_h(N)$  из (2) можно представить с учетом (4) в виде приближенного аналитического описания:

$$a_h = z + \Delta z |\sin(\pi N)|; \quad z = \frac{h_p}{R}; \quad \Delta z = \frac{h_a - h_p}{R}. \quad (17)$$

Наиболее просто задача определения нестационарной температуры КО решается в случае его весьма малой термической инерционности. Для безынерционного КО с весьма малой толщиной стенки ( $\Delta \rightarrow 0$ ) уравнение (13) сводится к алгебраическому уравнению вида

$$1+4\theta = 2\theta^* (\varphi_s + 0.714). \quad (18)$$

Из (18) нетрудно определить температуру безынерционного КО при его движении по эллиптической орбите, когда поглощаемый поверхностью КО удельный тепловой поток изменяется во времени только за счет изменения ИКО – значения  $\varphi_s$ . Выражение для температуры КО имеет вид

$$T = T_0 + T_0 [0.5\theta_i^* (\varphi_s + 0.714) - 0.25], \quad (19)$$

где  $\theta_i^*$  – некоторое значение начальной безразмерной температуры, определяемое выбором конкретного значения  $T_0$ .

Выбор начального значения температуры не вполне произволен, поскольку опыт практических расчетов указывает диапазон значений максимальных и минимальных температур КО при его движении по эллиптическим орбитам с различными значениями апогея.

Погрешность определения температур КО, обусловленная выбором начального значения температуры может быть оценена по формуле, вытекающей из (19),

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 0.5(T_{01}\theta_1^* - T_{02}\theta_2^*)(\varphi_s + 0.714) - 0.25(T_{01} - T_{02}), \quad (20)$$

где  $T_1$  и  $T_2$  – температуры КО, определенные при соответствующих выбранных начальных температурах  $T_{01}$  и  $T_{02}$ ;

$\theta_1^*$  и  $\theta_2^*$  – значения  $\theta^*$ , соответствующие начальным температурам  $T_{01}$  и  $T_{02}$ .

Из уравнения (8) в случае безынерционного КО ( $C_s = 0$ ) можно получить для ранее принятого допущения  $\varphi_k \ll 1$  более строгое, чем (19) соотношение для расчета температуры КО в виде

$$T_s = T_e \sqrt[4]{2\varphi_s + n_s \Phi_E}. \quad (21)$$

Для КО с абсолютно черной поверхностью во всем спектральном диапазоне ( $n_s = 1$ ) из (21) можно получить

$$T_s = 254,8 \sqrt[4]{2\varphi_s + 1,4288}. \quad (22)$$

Из (19) и (22) можно определить погрешность вычисления температуры КО при его движении по эллиптической орбите, обусловленную линеаризацией исходного уравнения (8). Эту погрешность можно описать соотношением

$$\Delta T_2 = T_s - T = 254,8 \sqrt[4]{2\varphi_s + 1,4288} - T_0 - T_0 [0.5\theta^* (\varphi_s + 0.714) - 0.25], \quad (23)$$

где  $T_s$  – строгое или точное стационарное решение уравнения (8);

$T$  – приближенное значение температуры, описываемое соотношением (19).

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

На рис. 1 показаны зависимости от высоты апогея температур сферического объекта при движении по эллиптической орбите при высоте перигея 600 км.

На рис. 1,а представлены результаты расчетов по строгой методике определения зависимости высоты орбиты от времени, изложенной в [4]. На рис. 1,б изображены линии, построенные при аппроксимации зависимости от времени высоты по формуле (17). Как видно из рис. 1, использование аппроксимационной зависимости практически не меняет результата для минимальных температур КО (в точке апогея). Погрешность определения максимальных температур (в точке перигея) при аппроксимации синусом не превышает 3 К для малоинерционных объектов (с толщиной стенки 1 мм) и приближается к нулю для объектов с большой термической инерцией (при толщине стенки 1–5 см). При малых величинах апогея ИКО сферического КО меняется незначительно, тогда как для вытянутых орбит в процессе движения КО имеют место изменения ИКО на порядок. Этим объясняется увеличение различий максимальных и минимальных температур КО с ростом высоты апогея.

На рис. 2 представлены зависимости от высоты апогея максимальных и минимальных температур сферического КО с толщиной стенки 1 мкм (безынерционный объект) для случая учета комбинированного коэффициента облученности и без его учета. Как видно из сопоставления кривых 1, 3 и 2, 4, учет отраженного Землей солнечного излучения не обязателен. Этот вывод справедлив только для случая полярной орбиты. Такой результат позволяет существенно упростить расчеты без внесения заметных погрешностей.

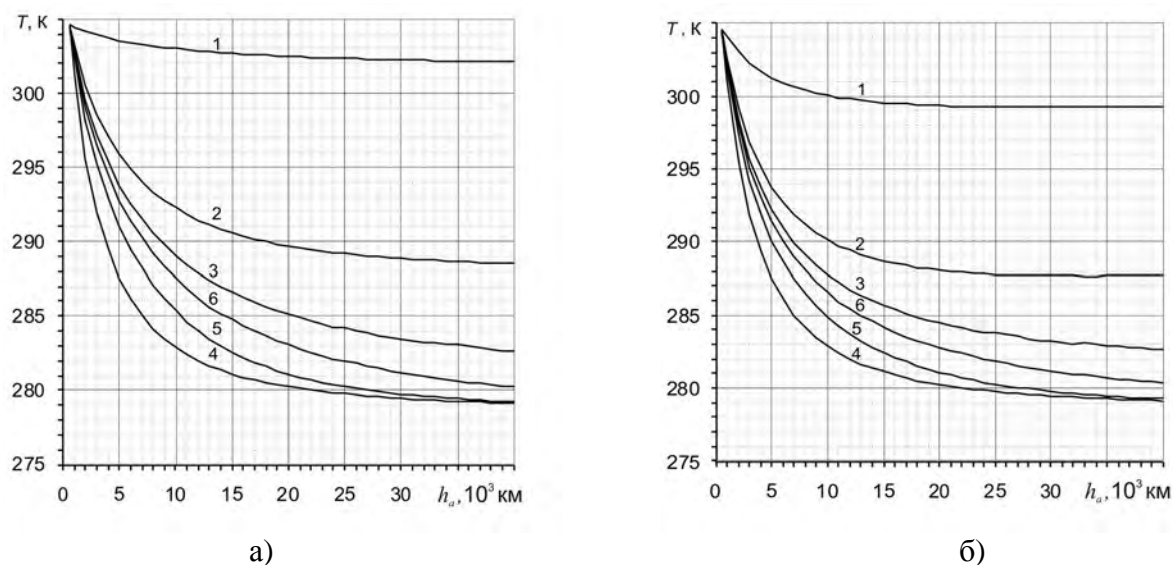


Рис. 1. Зависимость от высоты апогея эллиптической орбиты при перигее 600 км максимальной и минимальной температуры КО сферической формы с толщиной стенки 1 мм (кривые 1 и 4), 1 см (кривые 2 и 5) и 5 см (кривые 3 и 6):  
 а – расчеты зависимости высоты объекта над Землей в соответствии с решением исходного дифференциального уравнения;  
 б – расчеты зависимости высоты объекта над Землей при аппроксимации уравнения движения синусом

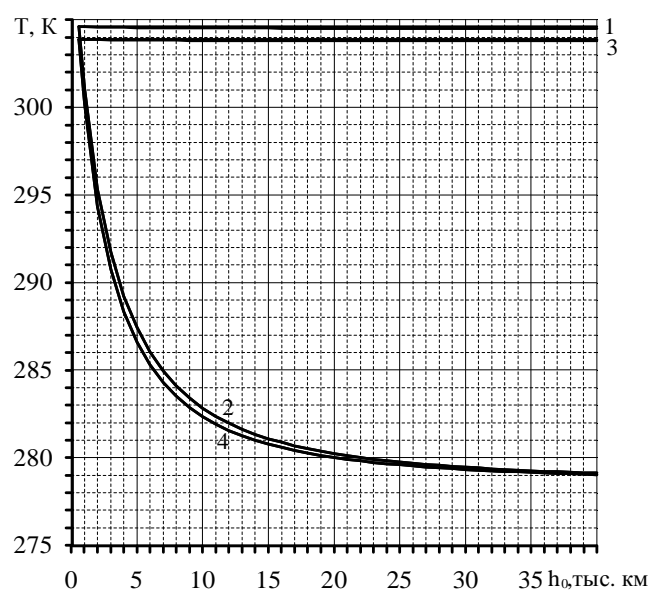


Рис. 2. Зависимость от высоты апогея эллиптической орбиты при перигее 600 км максимальной и минимальной температуры КО сферической формы с толщиной стенки 1 мкм (безынерционный объект)

На рис. 2 кривые 1 и 2 соответствуют расчету с учетом комбинированного коэффициента облученности, кривые 3 и 4 – для случая равенства комбинированного коэффициента облученности нулю.

Результаты расчета зависимостей температуры КО от безразмерного времени внутри цикла представлены на рис. 3. Из этого рисунка можно сделать следующие выводы. Максимальное изменение температуры КО даже для вытянутых орбит не превышает 23 К,

что обусловлено непрерывным тепловым воздействием на поверхность КО прямого солнечного излучения. Зависимости  $T(N)$  при небольших значениях апогея (до 2000 км) близки к параболическим, а при весьма больших величинах апогея внутри участка временной зависимости наблюдаются пологие участки, особенно заметные при высотах свыше 10000 км.

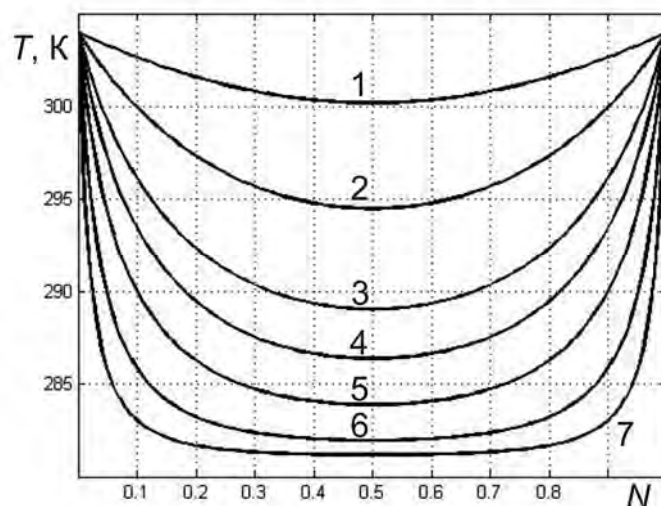


Рис. 3. Зависимость температуры безынерционного космического объекта с нулевой теплоемкостью от безразмерного времени  $N$  внутри каждого цикла при заданной начальной температуре  $T_0 = 300$  К.

Нумерация линий соответствует высотам апогея, км:

1 – 1000; 2 – 2000; 3 – 4000; 4 – 6000; 5 – 10000; 6 – 20000; 7 – 40000

На рис. 4 представлены зависимости погрешностей определения температур, обусловленные выбором их начальных значений. Как видно из рис. 4, эти погрешности незначительны, несмотря на различие выбранных начальных температур на 10 К.

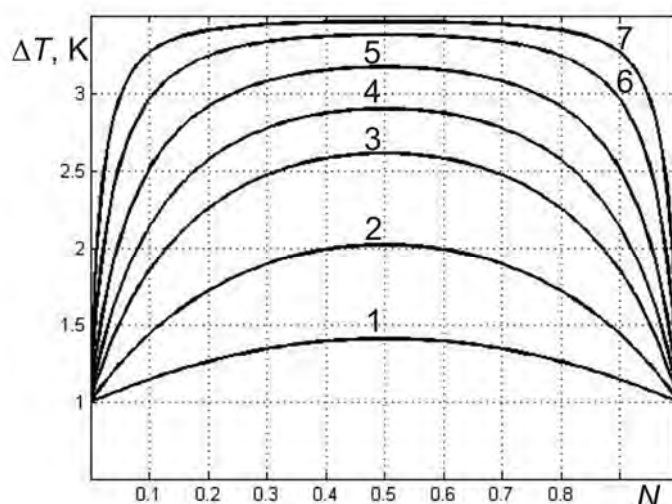


Рис. 4. Зависимости от безразмерного времени  $N$  различий вычисляемых температур сферического КО, обусловленных выбором начальных температур, отличающихся на 10 К (300 К и 290 К).

Нумерация линий соответствует высотам апогея, км:

1 – 1000; 2 – 2000; 3 – 4000; 4 – 6000; 5 – 10000; 6 – 20000; 7 – 40000

На рис. 5 представлены зависимости погрешности  $\Delta T_2$  от долей цикла  $N$  для  $T_0=300$  К и  $\theta^*=0,52$ . Как видно из этого рисунка, при высотах апогея до 2000 км погрешность линеаризации практически незаметна. При величине апогея до 6000 км погрешность не превышает одного градуса. Даже в случае сильно вытянутой орбиты при высоте апогея 40000 км погрешность линеаризации не превышает по абсолютной величине 2 К. Отсюда можно сделать вывод о высокой точности полученного аналитического решения.

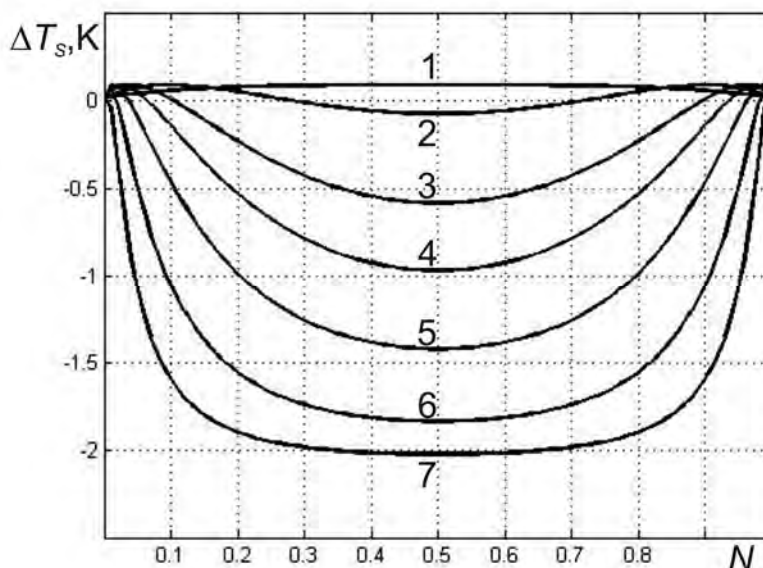


Рис. 5. Зависимости от безразмерного времени  $N$  погрешностей определения температуры сферического КО, обусловленных линеаризацией уравнения теплообмена.

Нумерация линий соответствует высотам апогея, км:  
1 – 1000; 2 – 2000; 3 – 4000; 4 – 6000; 5 – 10000; 6 – 20000; 7 – 40000

## ВЫВОДЫ

В результате проведенных преобразований исходной общей математической модели выведены аналитические формулы, позволяющие проводить расчеты нестационарных температур оболочечных сферических КО на полярных эллиптических орбитах. Существенное упрощение исходного общего уравнения нестационарного теплообмена (1) достигнуто за счет использования аппроксимации уравнения движения синусоидальной зависимостью отношения текущего времени к периоду обращения КО вокруг Земли, а также за счет пренебрежения мощностью падающего на КО отраженного Землей солнечного излучения, что оправдано для полярных орбит [5]. Принятые допущения позволяют избежать интегрирования в промежуточных расчетах и обеспечивают возможность линеаризации исходного уравнения теплообмена.

Уравнение (13), полученное в результате линеаризации исходного нелинейного уравнения теплообмена КО в ОКП (1), позволяет значительно упростить расчет нестационарной температуры оболочечного КО сферической формы при движении по эллиптической орбите. Формула (19) является стационарным решением линеаризованного уравнения (13) для безынерционного КО. Погрешности этого решения, обусловленные произвольным выбором начальной температуры КО, могут оцениваться с помощью соотношения (20). Выполненные исследования показали возможность проведения расчетов температур КО по формуле (19) с приемлемой для практики погрешностью менее 3 К. Формула (21) является стационарным

решением исходного уравнения (1). Погрешность упрощенной формулы (19) относительно формулы (21) не превышает 2 К.

Проведенные исследования показали значительное удобство в процессе использования полученных аналитических решений при весьма малой потере точности для расчетов нестационарных температур КО с малой термической инерцией, движущихся в ОКП по полярным траекториям – от круговой до сильно вытянутой.

### Список используемых источников

1. Моделирование тепловых режимов космического аппарата и окружающей его среды / под ред. Г.П. Петрова. – М.: Машиностроение, 1971. – 382 с.
2. Каменев А.А., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Аналитические методы расчета тепловых режимов и характеристик собственного теплового излучения объектов в околоземном космическом пространстве. – СПб.: НТЦ им. Л.Т. Тучкова, 2006. – 186 с.
3. Баёва Ю.В., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Методика расчета нестационарных температур космического объекта на круговых орбитах // Известия вузов. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, № 12. – С. 51–56.
4. Баёва Ю.В., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Методика расчета нестационарных температур космического объекта, движущегося по эллиптической орбите // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 6 (88). – С. 67–72.
5. Баёва Ю.В., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Аналитическая методика расчета тепловых потоков в околоземном космическом пространстве, формирующих тепловой режим космических телескопов // Оптический журнал. – 2013. – Т. 80, № 5. – С. 30–37.
6. Баёва Ю.В., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Метод поддержания заданного температурного диапазона космического аппарата, движущегося по круговой орбите с заходом в тень Земли // Известия вузов. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, № 7 – С. 56–61.
7. Лаповок Е.В., Ханков С.И. Аналитическое описание нестационарных температур изотермического объекта в условиях его лучистого теплообмена с окружающей средой // Известия вузов. Приборостроение. – 2012. – Т. 55, № 3. – С. 56–60.
8. Дзгоев А.М., Ханков С.И. Методика расчета коэффициентов облученности цилиндрического космического объекта подсветкой Земли // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 1 (89). – С. 145–150.
9. Дзгоев А.М., Ханков С.И. Тепловое подобие космических объектов типовых конфигураций // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 2 (90). – С. 130–136.
10. Дзгоев А.М., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Высотные зависимости температуры изотермического космического объекта сферической формы // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 3 (91). – С. 117–123.
11. Trenberth K.E., Fasullo J.T., Keihl J. Earth's global energy budget // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 2009. – V. 90, № 3. – P. 311–323.
12. Trenberth K.E., Fasullo J.T. Tracking Earth's Energy: From El Nino to Global Warming // Surveys in Geophysics. – 2012. – V. 33, № 3. – P. 413–426.
13. Trenberth K.E., Fasullo J.T., Balmaseda M.A. Earth's Energy Imbalance // J. Climate. – 2014. – V. 27. – P. 3129–3144.

А.Я. Кобан,  
Г.В. Дудалев,  
*кандидат воен. наук, доцент;*  
А.А. Михалченков,  
*кандидат воен. наук*

## О ПОДХОДЕ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДИЧЕСКОГО АППАРАТА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ НА ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ

В статье рассматривается научно-методический аппарат построения системы радиолокационной разведки воздушно-космического противника. Обозначены проблемы рационального построения системы радиолокационной разведки, и предложены возможные пути их решения.

Ключевые слова: система радиолокационной разведки, научно-методический аппарат построения системы радиолокационной разведки, эффективность системы радиолокационной разведки, показатель информационных потерь.

Задача формирования перспективной системы РЛ разведки воздушно-космического противника является сложной слабоструктурированной задачей, решение которой требует учета множества факторов в условиях не поддающейся структуризации неопределенности. Причем неопределенность существует как относительно характеристик компонентов, так и относительно параметров системы. По сути своей она относится к классу задач принятия решений в нечеткой обстановке.

В условиях неопределенности процесс принятия решения описывается выражением [1]

$$\langle F, S, R^O, l \rangle, \quad (1)$$

- где  $F$  – множество показателей, характеризующих систему;  
 $S$  – множество исходных компонентов для ее построения,  $s \in S$ ;  
 $R^O$  – множество действий разработчика или оператор построения системы из компонентов,  $R^O = \langle A^O, S \rangle$ ,  $a^O \in A^O$  – действие, множество возможных действий оператора по выбору компонентов;  
 $l$  – функция, характеризующая потери при формировании облика системы, когда на отношении  $F \times R^O$  действием  $a^O \in A^O$  выбирается  $f_a \in F$ .

Нечеткое действие  $a^O \in A^O$  имеет функцию принадлежности  $\mu_A : A^O \rightarrow [0,1]$ , а нечеткая стратегия построения  $R_a^O$  описывается нечетким отношением, характеризующим варианты выбора оператором построения исходных компонентов  $S \times A^O$  и имеет функцию принадлежности  $\mu_{Ra} : S \times A^O \rightarrow [0,1]$ .

Задача заключается в поиске стратегии построения, которая минимизирует нечеткую функцию потерь

$$\mu_{Ra} : F \times R^O \rightarrow \min l. \quad (2)$$

Решение поставленной задачи связано с необходимостью выбора одного (рационального) или нескольких альтернативных подходов, методик, совокупностей методов построения или вариантов решений и обуславливается возникновением проблемной ситуации, в которой

имеются два состояния – существующее и желаемое, причем в наличии более одного способа достижения желаемого состояния [2]. Принципиальная трудность осуществления выбора в подобных условиях состоит в неопределенности понятия «наилучший альтернативный вариант». При решении подобных проблем возникает вопрос, в каком смысле наилучший? Преодоление этой трудности и представляет собой основной предмет прескриптивной теории принятия решений – составной части системного анализа, цель которой состоит в разработке методов структуризации задач принятия решений, позволяющих сформировать рациональное представление о наилучшем варианте и на его основе осуществить сравнение альтернативных вариантов и выбор наиболее предпочтительного. Научно-методический аппарат построения системы РЛ разведки и представляет собой соответствующий инструмент, позволяющий в условиях различного рода неопределенностей структурировать наиболее предпочтительный вариант построения системы.

Содержательно научно-методический аппарат построения системы РЛ разведки представляет собой совокупность методов, методик, способов, приемов, применяемых с целью определения ее рационального состава, структуры, организации (в том числе организации функционирования), расположения на местности (боевого порядка) в логической последовательности, обеспечивающей достижение поставленной цели.

Под рациональным составом, структурой, организацией и т.д. или под рациональным построением системы РЛ разведки, как правило, понимается такое ее построение, которое обеспечивает достижение требуемой эффективности ее функционирования.

Традиционно основными компонентами научно-методического аппарата построения системы РЛ разведки является собственно совокупность методов, методик, способов, приемов, обеспечивающих эффективное формирование требуемого варианта построения или их множества и совокупность методов и методик, обеспечивающих оценку эффективности сформированного варианта (вариантов) для определения степени достижения цели построения и выбора наиболее предпочтительного из них (рис. 1). Сформированный требуемый вариант построения будем называть базовым вариантом.

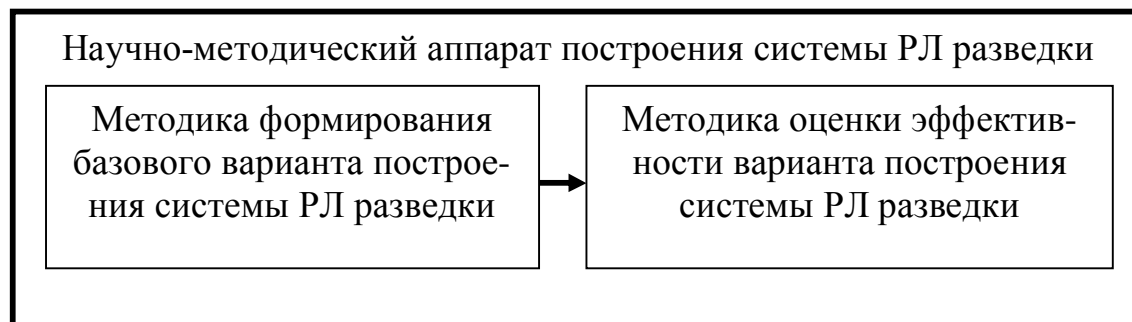


Рис. 1. Научно-методический аппарат построения системы РЛ разведки

Известные методические подходы в основном посвящены развитию методологии оценки эффективности и практически не уделяют внимания первому компоненту. Исходный базовый вариант построения (группировки или структуры системы), как правило, формируется эвристически, например, на основе принципов построения радиолокационного поля и (или) в соответствии с принятой на практике общей идеологией построения системы. Формирование предпочтительного варианта построения осуществляется итерационно путем оценки эффективности предложенного базового варианта, анализа результата оценки с целью определения направления совершенствования базового варианта, формирования путем варьирования его параметров на основе эвристических соображений очередного варианта.

Оценка эффективности системы на этапе построения проводится методами имитационного моделирования с использованием пространственных и информационных показателей. Од-

нако количественные значения информационных показателей в первую очередь определяются качеством алгоритмов обработки информации. При этом методы и алгоритмы обработки, играющие роль системообразующего компонента, как правило, не моделируются в связи со сложностью реализации подобных больших моделей и ограничениями в располагаемых вычислительных ресурсах и времени. В лучшем случае влияние алгоритмов обработки на качество информации подыгрывается. В результате облик системы оказывается недостаточно структурированным, так как из процесса формирования варианта выпадает структуризация основного системообразующего компонента оператора отображения, а из процесса оценки – оценка с учетом этого компонента. В связи с этим потенциальная эффективность системы РЛ разведки при построении в полной мере не реализуется, а оценка эффективности формируется не вполне достоверной. И самое главное – используемая для оценки эффективности совокупность показателей не позволяет обеспечить сравнимость результатов оценки, полученных при построении, моделировании и при функционировании реальной системы в местах предназначения.

Для повышения достоверности оценки и обеспечения сравнимости результатов оценки в основу общего подхода к совершенствованию методического аппарата предлагается положить **гипотезу о возможности формирования интегрального показателя, позволяющего осуществить целенаправленное построение системы РЛ разведки и оценку эффективности варианта ее построения, в том числе при решении задач по предназначению в реальных условиях применения радиотехнических войск.**

Реализация открытости, интегрированности, адаптивности функционирования в любых условиях обстановки предполагает, что абстрактная формальная модель системы РЛ разведки должна учитывать динамику изменений и множественность состояний среды, обеспечивать процессы отображения (обработки информации), адекватные этим состояниям, т.е. должна обладать инвариантностью к любому состоянию среды [3].

Пусть среда, в которую погружена система РЛ разведки, характеризуется множеством состояний

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n, \dots\}, \quad (3)$$

а ее возможные общая и частные цели функционирования множеством

$$G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_i\}. \quad (4)$$

Пусть в момент времени  $t$  среда находится в сложном состоянии, которое характеризуется подмножеством  $Q^* \subset Q$ , представляющим собой некий набор элементарных состояний  $q_n^*$ . Тогда абстрактную модель системы РЛ разведки в момент времени  $t$  можно задать функционалом

$$a_t^f : Q^* \rightarrow g^t, \quad (4)$$

который отображает состояние среды в цель функционирования системы.

Тогда

$$a_t^f : Q^* \rightarrow g^t \rightarrow \{R \times X\}, \quad (5)$$

где  $R$  – оператор системы, преобразующий входной информационный объект в выходной  $R = \{A \times P \times O\}$ ;

$A$  – множество автоматизированных задач системы РЛ разведки;

$P$  – множество информационного ресурса;

$O$  – множество технических компонентов РЛ системы.

Назовем процесс отображения воздушной (воздушно-космической) обстановки, преобразования входного информационного объекта в выходной (в информацию о воздушно-космическом противнике) в системе информационным воздействием на объект. Допустим, что технические компоненты системы РЛ разведки полностью реализуют заданный функ-

ционал и обеспечивают соответствующее ему информационное воздействие на обстановку (ее отображение), т.е. его оператор

$$R \Leftrightarrow O. \quad (6)$$

В соответствии с представлением системы РЛ разведки как открытой, определяющим компонентом, обеспечивающим достижение цели функционирования, является его оператор

$$R \subset \{A \times P\} \subseteq S \subset Y \times \{M \times U\}. \quad (7)$$

Тогда отображение на временном континууме

$$f_T : \{M \times U\} \times \{A \times P\} \times T \rightarrow F_K, \quad (8)$$

характеризует качество выполнения оператора  $R$ , обеспечивающего формирование выходного информационного объекта  $Y = X \times R$  при реализованном множестве автоматизированных задач  $A$ , множестве потребных для реализации функционала ресурсов по типу ресурсов системы  $P$ , обеспечивающих соответствующее преобразование информации об обстановке, в течение времени  $T = t_d - t_n$ . При этом цель функционирования достигается при полной реализации оператора:

$$X \times R \times T \rightarrow g^t. \quad (9)$$

Полная реализация функционала системы РЛ разведки в общем случае предполагает получение в соответствии с состоянием среды подмножеств компонентов измеримого, непосредственно наблюдаемого или управляемого входного информационного объекта или адекватное отображение воздушной обстановки. То есть цель функционирования системы достигается, если обеспечивается адекватное отображение воздушной обстановки или обеспечивается взаимнооднозначное соответствие (изоморфное) входного и выходного информационных объектов:

$$X \Leftrightarrow Y. \quad (10)$$

Все вышеизложенное соответствует условию

$$X \times R \times T \rightarrow Y, \{X \cap \tilde{Y}\} \cup \{\tilde{X} \cap Y\} \rightarrow \emptyset, Y \subseteq X, \quad (11)$$

где  $\tilde{Y}, \tilde{X}$  – логическое отрицание «не  $X$ , не  $Y$ ».

В реальных условиях система РЛ разведки РТВ должна обеспечить максимум информационных воздействий по элементам множества воздушной (воздушно-космической) обстановки, то есть максимум количества элементов множества, информация о которых в течение определенного времени получена – она подверглась отображению и преобразованию оператором  $R$  – или минимизировать множество элементов, оставшихся без воздействия:

$$\text{card}\{X \cap \tilde{Y}\} \cup \{\tilde{X} \cap Y\} = \text{card}X_l \rightarrow \min, \quad (12)$$

где  $X_l, \text{card}X_l$  – подмножество информационных потерь в системе  $X_l \subseteq X$  и, соответственно, мощность этого подмножества.

Таким образом, максимум информационных воздействий по элементам множества воздушной (воздушно-космической) обстановки  $X$  обеспечивается при условии минимизации множества информационных потерь в системе РЛ разведки. Причем степень достижения цели построения и цели функционирования системы РЛ разведки или эффективность ее функционирования можно оценить путем количественного определения информационных потерь при отображении, преобразовании входного информационного объекта в выходной.

Показатель информационных потерь и критерий его минимизации впервые обоснован и предложен в трудах С.А. Семенова [4 – 8]. Этот показатель использовался для оценки качества информации о воздушной обстановке, а через них – качества методов ее обработки или качества и эффективности АСУ. В трудах В.П. Саушкина также упоминается необходимость использования критерия минимума потерь информации: при прохождении ее от источников

к потребителям, при построении оптимальной системы сбора, обработки и выдачи РЛИ. Для комплексной оценки как интегральный показатель, характеризующий целеполагание при построении системы (структуризации ее облика), а также эффективность структурированного варианта (вариантов) построения системы РЛ разведки зонально-объектовой группировки ВКО, подобный показатель не использовался.

Таким образом, в качестве показателя, характеризующего достижение цели построения системы РЛ разведки и ее эффективность, предлагается использовать показатель информационных потерь, а в качестве критерия степени достижения цели построения – его минимум. Предлагаемый показатель обладает свойствами физического и функционального показателя. Он рассчитывается с использованием результатов непосредственных измерений, полученных, например, в тестовом режиме, позволяет локализовать элементы системы, на которых происходят недопустимые потери. Отражая степень недостижения цели, этот показатель позволяет оценивать вклад информационной системы в надсистему и может использоваться в качестве обратной связи при адаптации системы к состоянию среды. Кроме того, использование сформированного на основе этого показателя критерия минимума информационных потерь позволяет вполне целенаправленно проводить проектирование информационной системы, а используя полученное на этапе разработки количественное значение критерия, осуществлять сравнительную оценку эффективности системы в ходе применения по назначению в местах дислокации (выбранного боевого порядка) [9].

### Список используемых источников

1. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1986.
2. Гафт М.Г. Принятие решений при многих критериях. – М., Знание. – 1979.
3. Семенов С.А., Бояринцев А.В., Семенов В.С., Мойсеенко П.Г., Корниенко В.В. О подходе к обоснованию абстрактной модели функционирования перспективной системы РЛР // Вопросы радиоэлектроники. Сер. СОИУ. – М., 2010. – Вып. 1.
4. Агрегирование информации о воздушной обстановке: монография / С.А. Семенов, И.Б. Бреслер, В. В. Корниенко и др. – Тверь: ВА ВКО, 2008.
5. Семенов С. А., Бреслер И. Б., Новоселов П. В. Методический подход к оценке эффективности автоматизированной системы, создаваемой на основе разнородных компонентов // Радиотехника. – 2005. – № 5.
6. Семенов С. А., Новоселов П. В., Бреслер И. Б. О подходе к оценке эффективности автоматизированной системы, создаваемой на основе разнородных компонентов // Сб. трудов Всероссийской научной конференции «Нечеткие системы и мягкие вычисления. НСМВ 2006». – М.: Физматлит, 2006.
7. Семенов С. А., Колесниченко В. И., Корниенко В. В. Оценка эффективности автоматизированной информационной системы с ограниченными ресурсами // Вопросы радиоэлектроники. – Сер. СОИУ. – М., 2008. – Вып. 1.
8. Семенов С. А., Бояринцев А. В. О подходе к выбору и обоснованию показателей качества функционирования перспективной системы РЛР // Радиопромышленность. – 2009. – Вып. 1.
9. Семенов С.А., Семенов В.С., Моничев С.С., Аржаев В.И. Формирование интегрального показателя эффективности функционирования информационной системы // Программные продукты и системы. – 2012. – Вып. 2.

В.В. Козлов,  
доктор техн. наук, профессор;  
Д.О. Мокан,  
кандидат техн. наук;  
С.В. Чирва

## ОЦЕНИВАНИЕ АДАПТИВНОСТИ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Рассматривается свойство адаптации сложной технической системы, как свойство позволяющее придать системе возможность приспособления к новым научно-техническим, политическим и иным ситуациям, заранее не обозначенным в техническом задании на систему, с тем, чтобы в процессе ее жизненного цикла система могла не только изменять, но и улучшать свои характеристики.

Ключевые слова: адаптация, модернизация, модификация.

### ВВЕДЕНИЕ

Слово адаптация широко используется в научной литературе и трактуется неоднозначно как в технических, так и иных областях знаний. Адаптацию объекта исследования рассматривают как процесс его эволюции, привыкания, обучения и самообучения, организации и самоорганизации (для самоорганизованных систем). При этом возможны процессы взаимной опережающей адаптации компонентов системы между собой и системой с внешней средой.

Адаптация [от лат. *adaptatio* – приспособление] – это приспособление системы к реальным условиям. Поэтому в статье предложено рассмотреть свойство адаптации сложной технической системы (СТС), как свойство, позволяющее придать системе возможности приспособления к новым научно-техническим политическим и иным ситуациям, заранее не обозначенным в техническом задании на систему, с тем, чтобы в процессе ее жизненного цикла она могла не только изменять, но и улучшать свои характеристики.

Традиционно адаптацию делят на две составляющие модификацию и модернизацию, которые, как правило, сочетаются в любой СТС в разных пропорциях.

### СВОЙСТВО МОДИФИЦИРУЕМОСТИ И ЕГО ПОКАЗАТЕЛЬ

В выстроенной иерархии свойств СТС [1] свойство «адаптивность» успешно согласуется с соответствующими свойствами иных комплексов таких как безотказность, действенность и способность.

В принятой семантике присутствует свойство модифицируемости  $Mo$ , которое описывается вектором и двух компонент

$$\langle I, A \rangle,$$

где  $I$  – свойство, характеризующее обеспеченность потребной информацией для достижения цели;

$A$  – свойство, характеризующее степень достижения цели.

Под модификацией [фр. *modification* или лат. *modificatio*] понимают видоизменение, преобразование чего-либо, характеризующееся появлением новых свойств, а также модель из семейства однотипных технических устройств, например, машин, незначительно отличающаяся от основной модели. Вместе с тем видоизменение это вариант, разновидность, предмета или явления, представляющее в ином, измененном качестве, при сохранении своей основы, сущности. Поэтому можно принять следующее определение.

**Определение:** Модификация (*modificatio* – изменение) СТС – разработка конструктивных вариантов однотипных образцов для использования в условиях, отличающихся от условий применения основного образца.

Исходя из этого определения свойство модификации должно характеризовать изменение качества процессов реализуемых СТС. Из этих же определений следует, что СТС при модификации потребует некоторых дополнительных ресурсов для реализации новых свойств.

Предположим, что показатель эффективности процессов реализуемых базовым вариантом СТС есть вектор

$$Ef \langle A, R, I, T \rangle,$$

где  $A$  – показатель цели;

$R$  – показатель ресурсопотребления;

$T$  – показатель оперативности;

$I$  – показатель информационного обеспечения.

Тогда

$$Ef_1 = \frac{A_1}{R_1} \cdot T_1 \cdot I_1$$

Поскольку модификация производится для изменения целей функционирования при сохранении основной сути СТС, то можно считать, что в результате изменяются только показатели целей  $A_2$  и ресурсопотребления  $R_2$

$$Ef_2 = \frac{A_2}{R_2} \cdot T_1 \cdot I_1.$$

Значения показателей эффективности  $Ef$  до и после модификации могут сильно различаться. Таким образом, при оценивании модификации следует оценить соотношение

$$\frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{R_1}{R_2},$$

которое покажет успешность модификации. В результате

$$Mo = \frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{R_1}{R_2} = \frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{R_1}{R_1 + \Delta R_1}.$$

В зависимости от того каким значением станет относительный показатель целей для модифицируемого объекта  $A_2 \leq A_1$  или  $A_2 \geq A_1$  возможны варианты показанные на рис. 1.

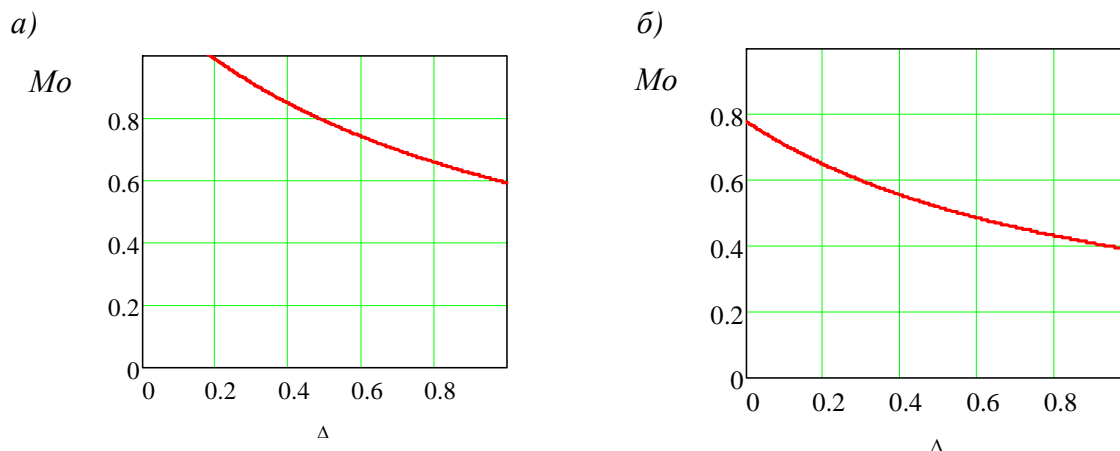


Рис. 1. Показатель модифицируемости:

а) – при  $A_1 = 0.8$ ;  $A_2 = 0.95$ ; б) – при  $A_1 = 0.9$ ;  $A_2 = 0.7$

Тогда на основании численного значения показателей цели  $A$  можно принимать решение о целесообразности модификации. Если показатель цели после модификации вырастает при незначительных затратах ресурса ( $\Delta R \approx 0,2$ ), то модификация оправдана. Если показатель цели после модификации вырастает, но при этом затраты ресурсов велики, то однозначного решения нет. Если показатель цели после модификации становится ниже, то модификация не целесообразна.

## СВОЙСТВО МОДЕРНИЗИРУЕМОСТИ И ЕГО ПОКАЗАТЕЛЬ

В принятой иерархии свойства [1] «адаптивность», входящее в него свойство «модернизируемости»  $En$  описывается вектором

$$\langle A, T \rangle,$$

где  $T$  – временное свойство и (или) свойство длительности, оперативности процессов достижения цели.

Согласно определению [2] модернизация – это изменение, усовершенствование, отвечающее современным (новым или иным) требованиям.

Согласно [3] модернизация военной техники [франц. *moderne* – новейший, современный] – это обновление морально устаревающих образцов военной техники путем изменения конструкции, элементной базы, материала или технологии изготовления в целях значительного улучшения их характеристик и повышения эффективности использования.

На основании этих определений можно принять определение модернизации для СТС.

Модернизация СТС – это процесс усовершенствования или улучшения характеристик изделия (базового, основного или критичного), отвечающего современным требованиям и уровню научно-технических достижений.

Развитие этого определения приводит к понятию модернизационного ресурса СТС как совокупности временного, габаритного, массового, энергетического и информационного запасов СТС, закладываемых на этапе ее проектирования, обеспечивающих управление его жизненным циклом за счет введения в ее состав принципиально нового базового агрегата или подсистемы.

Согласно введенным здесь определениям, предложено выражение для показателя свойства модернизации. Алгоритм формирования показателя модернизации аналогичен принятой здесь процедуры формирования показателей. При проведении морфологического анализа для показателя модернизации выявлены следующие определяющие параметры:

- характерный размер сложной технической системы –  $l_{\text{стс}}$ ;
- масса конструкции сложной технической системы –  $m_{\text{стс}}$ ;
- энергетический запас для автономного функционирования сложной технической системы –  $E_{\text{стс}}$ ;
- оперативность выполняемых системой операций –  $t_{\text{стс}}$ ;
- характерный размер нового изделия –  $l_{\text{изд}}$ ;
- массовая характеристика нового изделия –  $m_{\text{изд}}$ ;
- назначенные ресурсы для СТС –  $R$ ;
- пропускная способность информационных каналов связи и управления –  $I$ .

Агрегирование этих определяющих показателей в функцию оценивания модернизации

$$Y_{\text{модерн}} = \text{const} \cdot \frac{l_{\text{стс}} \cdot m_{\text{стс}} \cdot E \cdot R^3}{t_{\text{стс}} \cdot (l_{\text{изд}})^3 \cdot m_{\text{изд}}^2} \cdot I$$

при введении масштабных значений для определяющих параметров, соответствующих базовому образцу СТС:

$$[l_{\text{стс}}], [m_{\text{стс}}], [E_{\text{стс}}], [R], [t_{\text{стс}}], [l_{\text{изд}}], [m_{\text{изд}}], [I].$$

Показатель модернизации  $En$  имеет вид:

$$En = 1 - \frac{\bar{l}_{\text{стс}} \cdot \bar{m}_{\text{стс}} \cdot \bar{E} \cdot \bar{R}^3}{\bar{t} \cdot \bar{l}_{\text{изд}} \cdot \bar{m}_{\text{изд}}^2} \cdot \bar{I}; \quad En \in 0 \div 1.$$

Используя численное значение этого показателя, удастся не только оценить возможность процессов модернизации СТС, но и определить круг задач для ее осуществления.

### Список используемых источников

1. Козлов В.В., Мокан Д.О., Аль-Вароуди У. Модели, методы и методические основы обоснования номенклатуры комплексных показателей качества функционирования систем вооружения. – М., 2013. – Деп. в ЦСИФ МО РФ 24.07. 2013, Серия Б, вып. 104. – 51 с.
2. Ожегов С.И., Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка / Российская АН.; Российский фонд культуры: – 2-е изд., испр. и доп. – М.: АЗЪ, 1994. – 928 с.
3. Военно-энциклопедический словарь. – М.: ОНИКС 21 век, 2002. – 1432 с.

А.А.Кулагин,  
кандидат техн. наук;  
Е.В. Калмыков

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ЗАЩИТЫ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОТ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАСТАНИЙ

Рассматриваются способы защиты систем оборотного водоснабжения (СОВ) от биологических обрастаний. Изложены результаты анализа основных организмов обрастаний и основных факторов, влияющих на процессы образования биологических обрастаний в системах оборотного водоснабжения. С учетом определения доминирующих факторов предложено проведение электрохимической обработки воды в двухкамерном диафрагменном электролизере, позволяющей защищать элементы СОВ от биообрастаний.

Ключевые слова: биообрастание, система оборотного водоснабжения, двухкамерный диафрагменный электролизер.

### ВВЕДЕНИЕ

При функционировании командных пунктов управления (КПУ) возникает необходимость отвода больших количеств теплоты, осуществляемого посредством систем оборотного водоснабжения. Безотказная работа СОВ КПУ является одной из важнейших составных частей успешного выполнения боевых задач, так как от их функционирования в значительной мере зависит надежность функционирования систем кондиционирования воздуха и вентиляции, охлаждение конденсаторов холодильных машин, холодильников воды и масла дизельной электрической станции, компрессоров и технологического оборудования КПУ. Анализ работы СОВ показывает, что в процессе их эксплуатации нередко возникают аварийные ситуации, вызванные образованием различного рода биообрастаний в теплообменных аппаратах, трубопроводах и охладителях. Применяемые в настоящее время способы борьбы с биообрастаниями, как показала практика, не обеспечивают в полной мере защиту СОВ от водной микрофауны. Поэтому со всей очевидностью назрела необходимость в проведении соответствующего научного исследования. Его актуальность обусловлена следующими обстоятельствами:

- необходимостью повышения надежности и экономичности функционирования СОВ существующего и перспективного технического и технологического оборудования КПУ;
- недостаточной эффективностью применяемых в настоящее время способов защиты СОВ КПУ от биообрастаний;
- необходимостью разработки новых экологически безопасных и экономичных способов, позволяющих комплексно решать задачу борьбы с биообрастаниями в СОВ КПУ.

*Цель исследования* – повышение эффективности защиты СОВ КПУ от биологических обрастаний.

В результате выполненного анализа основных организмов обрастаний установлено, что в СОВ КПУ возможно развитие биологических обрастаний, представленных нитчатыми бактериями *Sphaerotilus dichotomus*, железобактериями *Leptothrix ochracea* и *Gallionella ferruginea*, водорослями, грибами *Penicillium*, *Aspergillus*, *Aspergillus glaucus* [1].

В результате выполненного анализа основных факторов, влияющих на образование биологических обрастаний, установлено, что главное значение при выборе условий, обеспечивающих эффективную работу СОВ КПУ, имеют рН, окислительно-восстановительный потенциал  $E_h$ , химический состав воды, гидродинамические параметры элементов СОВ, темпе-

ратура воды. СОВ технологического оборудования КПУ функционирует в условиях, при которых температура оборотной воды не превышает +45 по Цельсию; основные организмы обрастаний в СОВ КПУ образуются на поверхностях нагрева, изготовленных из латуни, углеродистой и нержавеющей сталей [1].

Способы предотвращения появления основных организмов обрастаний в СОВ делятся на две основные группы: реагентные (хлорирование, купоросование, озонирование, использование четвертичных аммониевых соединений), получившие в настоящее время большое распространение и безреагентные (периодическое повышение температуры оборотной воды, подбор конструкционных материалов и покрытий, электроискровые, ультразвуковые, использование ультрафиолетового облучения, изменение pH воды), разработанные сравнительно недавно и не имеющие пока широкого применения [2].

Новизна предлагаемого способа заключается в следующем. При составлении заявления о выдаче патента РФ в качестве прототипа принят патент № 4 - 42077 "Способ и установка для получения стерилизованной воды", опубликованный 7 октября 1992 года. Этот способ основан на обработке водного раствора хлорида натрия в электролизере (рис.1) и смешивании продукта электролиза из анодной камеры с циркуляционной водой. При реализации этого способа в двухкамерном диафрагменном электролизере происходят следующие реакции:

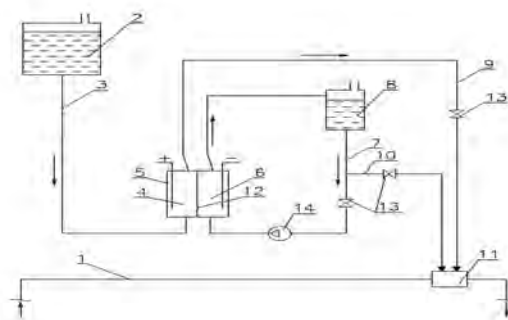
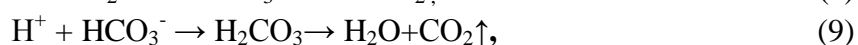
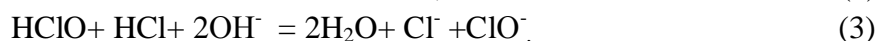


Рис.1. Принципиальная схема экспериментальной установки:

1 – трубопровод СОВ; 2 – емкость с водным раствором хлорида натрия; 3, 9, 10 – трубопроводы; 4 – анодная камера; 5 – электролизер; 6 – катодная камера; 7 – циркуляционный контур; 8 – накопительная емкость; 11 – смеситель; 12 – катионитовая мембрана; 13 – вентиль; 14 – насос

#### В анодной камере:



#### В катодной камере:





Бактерицидный эффект достигается за счет поступления в циркуляционную воду активного хлора, получаемого в процессе электролиза водного раствора хлорида натрия.

Способ-прототип имеет следующие недостатки. При обработке воды в электролизере в результате электродных реакций в анодной камере идет образование кислорода (5) и ионов водорода, а в катодной камере – образование молекулярного водорода (10) и накопление гидроксильных ионов. Увеличение в анодной камере концентрации ионов водорода приводит к снижению pH обрабатываемой воды. Как известно, в технической воде присутствует углекислота. При стабильном значении pH в обрабатываемой воде соблюдается динамическое равновесие между находящейся в ней угольной кислотой и составляющими ее ионами. Соотношение между различными формами углекислоты и составляющими ее ионами зависит от pH. При снижении pH концентрация гидрокарбонатных ионов уменьшается и возрастает содержание свободной углекислоты. Снижение pH с одновременным повышением  $\text{CO}_2$  придает обрабатываемой воде агрессивные свойства. В трубопроводах и теплообменных аппаратах такая вода растворяет защитные поверхностные карбонатные пленки, а затем вызывает коррозию металла. Таким образом, существует техническое противоречие: продукты электролиза раствора хлорида натрия из анодной камеры, с одной стороны, обладают бактерицидными свойствами, что позволяет бороться с биообрастаниями, с другой стороны, введение в циркуляционную воду продуктов из анодной камеры приводит к повышению ее коррозионной активности.

В основу предложенного изобретения положено то, что в циркуляционную воду во время ее смешивания с продуктами электролиза раствора хлорида натрия из анодной камеры добавляют продукты электролиза раствора хлорида натрия из катодной камеры для снижения коррозионной активности воды при одновременном сохранении бактерицидных свойств активного хлора.

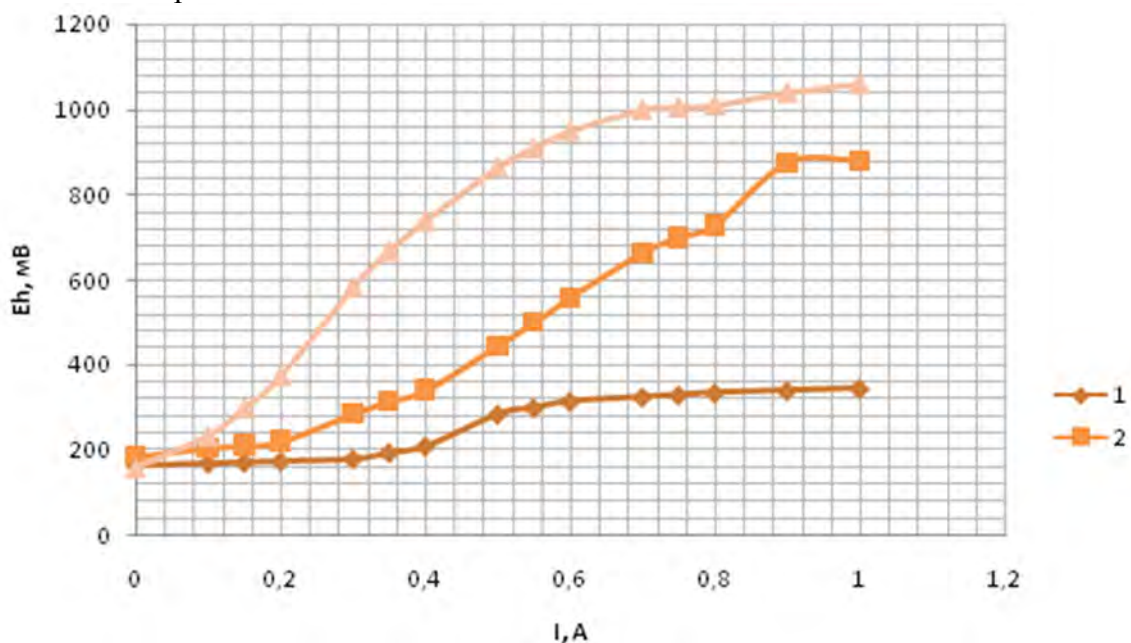


Рис.2. Динамика Eh монорастворов NaCl с концентрацией ионов  $\text{Cl}^-$ :

1- $C_{\text{Cl}^-}=38$  мг/л ; 2- $C_{\text{Cl}^-}=171$  мг/л ; 3- $C_{\text{Cl}^-}=705$  мг/л

В результате предварительного этапа экспериментальных исследований получены данные, описывающие характер изменения pH водных систем различного ионного состава в зависимости от силы тока. Получена математическая модель системы (уравнение регрессии в

виде полинома второй степени) на основе изучения реакции ее выходного параметра  $y(\text{pH})$  на изменение фактора  $x(\text{I})$  в заранее определенных диапазонах:

$$y = 4,29x^2 - 9,39x + 7,78. \quad (14)$$

В результате проведенных экспериментальных исследований получены также данные, описывающие характер изменения  $E_h$  водных систем различного ионного состава (рис.2.) в зависимости от силы тока. Получена математическая модель системы (уравнение регрессии в виде полинома второй степени) на основе изучения реакции ее выходного параметра  $y(E_h)$  на изменение фактора  $x(\text{I})$  в заранее определенных диапазонах,

$$y = -1297,89x^2 + 2304,75x + 25,04. \quad (15)$$

Проверка адекватности полученных математических моделей экспериментальным данным с помощью критерия Фишера, позволила сделать вывод, что они удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бактериологический анализ воды, обработанной экспериментальным электрохимическим способом, проведенный в Городском лабораторном центре Госсанэпиднадзора показал, что предлагаемым способом возможно снижать величину обрастаний до эксплуатационных пределов, т.е. до 50 КОЕ/см<sup>3</sup> (КОЕ – колонии образующие единицы).

По результатам работы получено свидетельство на полезную модель № 18836 РФ, ведется работа по подаче заявления о выдаче патента РФ на изобретение.

## Список используемых источников

1. Степанов А.В., Миклашевский Н.В., Кулагин А.А. Об основных факторах, влияющих на процессы образования биообрастаний в СОВ / ПВИ РВ. – Пермь, 1999. – Деп. в ЦСИФ МО РФ 17.03.99, № В 3908. – 34 с.
2. Кулагин А.А. Способы борьбы с биообрастаниями СОВ / ПВИ РВ. – Пермь, 1998. – Деп. в ЦСИФ МО РФ 25.02.98, № В 3570. – 26 с.

Ю.С. Мануйлов,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
В.Г. Зиновьев,  
*кандидат техн. наук, доцент;*  
Р.Р. Рахимов;  
С.С. Ядренников;

## **ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР УГЛОВОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НЕЖЕСТКОЙ КОНСТРУКЦИИ С ОЦЕНИВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДОМ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ**

В статье авторы предлагают решить проблему обеспечения максимальной оперативности и высокой точности наведения, а также сокращения длительности этапа стабилизации космического аппарата наблюдения после его перенацеливания. Представлена формализация и решение задачи синтеза оптимального регулятора стабилизации углового движения космического аппарата. Наглядно показан принцип асимптотической идентификации параметров состояния динамических систем. А также представлены полноразмерные асимптотические идентификаторы вектора состояния линейных нестационарных динамических систем.

Ключевые слова: оптимальный регулятор, перенацеливание, стабилизация углового движения, космический аппарат нежесткой конструкции, вектор состояния, асимптотическая идентификация.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В процессе целевого функционирования космических аппаратов наблюдения (КАН), решающих задачи сканирования (дистанционного зондирования) групповых целей (ГЦ), основной проблемой является обеспечение максимальной оперативности и высокой точности наведения на выбранные для обслуживания цели оптических осей (ОО) установленного на борту КАН специального бортового оборудования (СБО). Оба эти показателя в определяющей степени зависят от инерционности и точности наведения ОО СБО, а также динамических особенностей самого КАН, определяемых его конструктивно-компоновочной схемой и, в частности, наличием в его конструкции присоединенных упругих элементов конструкции (УЭК) типа крупногабаритных панелей солнечных батарей и антенных фазированных решеток. Типовая конструктивно-компоновочная схема КАН с присоединенными УЭК включает в себя корпус в виде вытянутого цилиндра (усеченного конуса) с пристыкованными к нему специальным блоком и двумя продольными крупногабаритными боковыми панелями солнечных батарей (ПСБ). Все выносные элементы конструкции крепятся к корпусу либо неподвижно, либо посредством специальных одно-двухступенных приводных устройств.

Процесс изменения пространственной ориентации ОО СБО в процессе сканирования элементов ГЦ называется перенацеливанием СБО. Решение задач перенацеливания осуществляется за счет переориентации самого КАН с использованием системы управления угловым движением (СУУД), перспективная циклограмма функционирования которой включает в себя следующие основные этапы:

- уточнение начального фазового состояния, выбор и принятие решения на обслуживание текущей цели, а также расчет параметров углового программного разворота КАН для переориентации осей визирования СБО на выбранную цель (этап 1);
- пространственный программный разворот корпуса аппарата с ненулевыми, в общем случае граничными, условиями по компонентам вектора фазового состояния для решения задачи оперативного перенацеливания СБО (этап 2);

- выведение объекта в заданную окрестность программной фазовой траектории (ПФТ) слежения за целью (этап 3);
- высокоточная стабилизация углового движения корпуса КАН в  $\varepsilon$ -окрестности ПФТ в процессе сканирования цели (этап 4).

В процессе перенацеливания особое место занимает проблема сокращения длительности этапа стабилизации, поскольку временные затраты на выполнение этого режима зачастую в несколько раз превышают затраты собственно на переориентацию (угловой разворот) КАН. Поэтому здесь при прочих равных условиях открываются широкие возможности по повышению оперативности перенацеливания СБО и, как следствие, по увеличению производительности КАН. В особенности данное утверждение справедливо в отношении задач прецизионной стабилизации, поскольку именно в этих режимах колебания упругой системы выступают наиболее существенным возмущающим фактором, снижающим качество работы СУУД и, как следствие, качество решаемых КАН основных целевых задач.

### ФОРМАЛИЗАЦИЯ И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА СТАБИЛИЗАЦИИ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Задача оптимального управления КАН в режиме стабилизации углового положения с учетом динамики присоединенных УЭК в  $\varepsilon$ -окрестности ПФТ в процессе сканирования цели может быть формализована следующим образом. Угловое движение корпуса КАН в сочетании с относительным колебательным движением системы присоединенных по схеме консольного защемления УЭК, допускающих балочную схематизацию, описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений [1, 3, 4]:

$$\begin{cases} \ddot{\bar{\omega}} = \bar{U}_\Gamma(\bar{\omega}) + \bar{U} + \bar{U}_q(\ddot{\bar{q}}_s) + \bar{U}_B; \\ \dot{\bar{\phi}} = \Phi(\bar{\phi})\bar{\omega}; \\ \ddot{\bar{q}}_s + D_s\dot{\bar{q}}_s + \Omega_s\bar{q}_s = \bar{V}_s + \bar{W}_s(\dot{\bar{\omega}}) + \bar{g}_s, s = \overline{1, N}. \end{cases} \quad (1)$$

В системе уравнений (1) обозначены:  $\bar{\omega}_{[3]}, \bar{\phi}_{[3]}, \bar{q}_{s[3]}, s = \overline{1, N}$  – векторы соответственно угловой скорости вращения КАН вокруг центра масс, углов ориентации осей связанной системы координат (ССК) относительно осей опорной системы координат (ОСК) и деформационных перемещений  $s$ -го УЭК с числом  $Nn_s$  учитываемых мод конечномерной модели;  $\bar{U}_\Gamma(\bar{\omega})$  – вектор ускорений, обусловленных наличием гироскопического эффекта в процессе вращательного движения корпуса КА,  $\bar{U}_\Gamma(\bar{\omega}) = -J^{-1}(\bar{\omega} \times J\bar{\omega}) = -J^{-1}\Omega(\bar{\omega})J\bar{\omega}$ , где

$$\Omega(\bar{\omega}) = \begin{bmatrix} 0 & \omega_3 & -\omega_2 \\ -\omega_3 & 0 & \omega_1 \\ \omega_2 & -\omega_1 & 0 \end{bmatrix};$$

$\Phi(\bar{\phi})$  – матрица кинематических соотношений в углах Эйлера-Крылова, зависящая от принятой последовательности поворотов ССК относительно ОСК (рассматривается наиболее типовая последовательность поворотов  $\phi_1 \rightarrow \phi_2 \rightarrow \phi_3$  – «крен–рысканье–тангаж»),

$$\Phi(\bar{\phi}) = \begin{bmatrix} \cos \phi_3 / \cos \phi_2 & -\sin \phi_3 \cos \phi_2 & 0 \\ \sin \phi_3 & \cos \phi_3 & 0 \\ tq\phi_3 \cos \phi_2 & tq\phi_2 \cos \phi_3 & 1 \end{bmatrix};$$

$J_{[3,3]}$  – тензор инерции недеформированного объекта;  $\bar{U}_{[3]}$  – вектор управляющих ускоре-

ний, обусловленных действием вектора управляющего момента  $\bar{M}_y$ , создаваемого исполнительными органами (ИО) СУУД,  $\bar{U}_{[3]} = J^{-1}\bar{M}_y$ ;  $\bar{U}_q$ ,  $\bar{U}_B$  – векторы возмущающих угловых ускорений, обусловленных динамикой присоединенных УЭК, а также действием возмущающего момента  $\bar{M}_B$  от прочих факторов,  $\bar{U}_q(\ddot{q}_s, s = \overline{1, N}) = -\sum_{s=1}^N A_s \ddot{q}_s$ ,  $\bar{U}_B = J^{-1}\bar{M}_B$ ;  $\bar{W}_{s\langle n_s \rangle}(\dot{\omega})$ ,  $\bar{V}_{s\langle n_s \rangle}$ ,  $\bar{g}_{s\langle n_s \rangle}$  – векторы нагружающих ускорений, обусловленных вращательным движением корпуса объекта, наличием силовых воздействий со стороны ИО локальных контуров активного демпфирования колебаний УЭК, а также прочих возмущающих воздействий на  $s$ -й УЭК,  $\bar{W}_{s\langle n_s \rangle}(\dot{\omega}) = -L_s^{-1}A_s^T \dot{\omega}$ , где  $L_{s[ns, ns]}$ ,  $D_{s[ns, ns]}$ ,  $\Omega_{s[ns, ns]}$ ,  $A_{s[3, ns]}$ ,  $s = \overline{1, N}$  – диагональные матрицы соответственно приведенных масс, коэффициентов диссипации, квадратов парциальных частот колебаний и коэффициентов инерционных связей  $s$ -го УЭК.

Учитывая малость отклонений фазовых координат движения КАН от требуемого положения, характерную для рассматриваемого режима стабилизации углового положения без потери общности, матрицу  $\Phi(\bar{\phi})$  в системе (1) можно считать близкой к единичной. При этом система (1) распадается на три сравнительно независимых канала управления, каждый из которых, в принципе, может исследоваться самостоятельно.

Исследования, проведенные в работах [3, 4], показали, что существенное влияние на движение КАН по любому каналу оказывают два типа колебаний УЭК – продольные  $q$ -типа и поперечные  $s$ -типа. Причем основной вклад в энергетическом колебательном спектре приходится на их первые два низкочастотных тона (гармоники). Крутильные колебания, а также высшие гармоники рассматриваемых типов колебаний вносят существенно меньший вклад в общее воздействие на корпус КАН, и поэтому ими на этапе синтеза управления можно пренебречь. С учетом этого модель углового движения КАН с двумя жестко закрепленными (консольно заземленными) выносными ПСБ в режиме стабилизации по одному из каналов управления, например каналу крена, может быть представлена в нормальной форме Коши [3]:

$$\dot{X}(t) = AX(t) + Bu(t). \quad (2)$$

Здесь  $X = \text{col}(x_1 = \phi, x_2 = \dot{\phi}, x_3 = q_1, x_4 = \dot{q}_1, x_5 = q_2, x_6 = \dot{q}_2, x_7 = s_1, x_8 = \dot{s}_1, x_9 = s_2, x_{10} = \dot{s}_2)$  ( $\phi, \dot{\phi}$  – угловое положение и угловая скорость отклонения КАН от стабилизируемого положения;  $q_1, \dot{q}_1, q_2, \dot{q}_2$  – обобщенные координаты первых двух тонов колебаний продольного  $q$ -типа;  $s_1, \dot{s}_1, s_2, \dot{s}_2$  – обобщенные координаты первых двух тонов колебаний поперечного  $s$ -типа);  $u$  – ограниченный управляющий параметр,  $u \in [-1, 1]$ ;  $A$  –  $10 \times 10$ -мерная матрица параметров объекта управления, где  $a_{12} = a_{34} = a_{56} = a_{78} = a_{910} = 1$  – выражения для параметров  $a_{ij}$ ,  $i = 2, 4, 6, 8, 10$ ,  $j = \overline{3, 10}$  приведены в табл. 1, а все остальные компоненты матрицы приняты нулевыми;  $B$  – вектор эффективности ИО,

$$B = \text{col} \left( 0, V, 0, -\frac{b_1^q V}{m_1^q}, 0, -\frac{b_2^q V}{m_2^q}, 0, -\frac{b_1^s V}{m_1^s}, 0, -\frac{b_2^s V}{m_2^s} \right)$$

( $V = \frac{PL}{J}$  – модуль управляющего ускорения, создаваемого РИО с тягой  $P$  и плечом  $L$ ;

$V = \frac{M}{J}$  – модуль управляющего ускорения, формируемого за счет создания ЭМИО управляющего момента с тягой  $M$ , где  $J$  – главный момент инерции КАН по рассматриваемой оси

ССК);  $k_y = \left( J - \left( \frac{(b_1^q)^2}{m_1^q} + \frac{(b_2^q)^2}{m_2^q} + \frac{(b_1^s)^2}{m_1^s} + \frac{(b_2^s)^2}{m_2^s} \right) \right)^{-1}$ ;  $\omega_1^q, \omega_2^q, \omega_1^s, \omega_2^s$  – собственные частоты колебаний ПСБ;  $v_1^q, v_2^q, v_1^s, v_2^s$  – логарифмические декременты затухания собственных колебаний осцилляторов;  $m_1^q, m_2^q, m_1^s, m_2^s$  – приведенные массы осцилляторов;  $b_1^q, b_2^q, b_1^s, b_2^s$  – динамические коэффициенты взаимного влияния объекта управления и осцилляторов.

Таблица 1

## Параметры модели углового движения КАН с УЭК

$a_{ij}$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$	$j = 6$	$j = 7$	$j = 8$	$j = 9$	$j = 10$
$i = 2$	$-k_y \omega_1^q$	$\frac{k_y b_1^q v_1^q \omega_1^q}{\pi}$	$-k_y \omega_2^q$	$\frac{k_y b_2^q v_2^q \omega_2^q}{\pi}$	$-k_y \omega_1^s$	$\frac{k_y b_1^s v_1^s \omega_1^s}{\pi}$	$-k_y \omega_2^s$	$\frac{k_y b_2^s v_2^s \omega_2^s}{\pi}$
$i = 4$	$\frac{b_1^q a_{23}}{m_1^q} - (\omega_1^q)^2$	$\frac{b_1^q a_{24}}{m_1^q} - \frac{\omega_1^q v_1^q}{\pi}$	$-\frac{b_1^q a_{25}}{m_1^q}$	$-\frac{b_1^q a_{26}}{m_1^q}$	$-\frac{b_1^q a_{27}}{m_1^q}$	$-\frac{b_1^q a_{28}}{m_1^q}$	$-\frac{b_1^q a_{29}}{m_1^q}$	$-\frac{b_1^q a_{210}}{m_1^q}$
$i = 6$	$-\frac{b_2^q a_{23}}{m_2^q}$	$-\frac{b_2^q a_{24}}{m_2^q}$	$-\frac{b_2^q a_{25}}{m_2^q} - (\omega_2^q)^2$	$\frac{b_2^q a_{26}}{m_2^q} - \frac{\omega_2^q v_2^q}{\pi}$	$-\frac{b_2^q a_{27}}{m_2^q}$	$-\frac{b_2^q a_{28}}{m_2^q}$	$-\frac{b_2^q a_{29}}{m_2^q}$	$-\frac{b_2^q a_{210}}{m_2^q}$
$i = 8$	$-\frac{b_1^s a_{23}}{m_1^s}$	$-\frac{b_1^s a_{24}}{m_1^s}$	$-\frac{b_1^s a_{25}}{m_1^s}$	$-\frac{b_1^s a_{26}}{m_1^s}$	$\frac{b_1^s a_{27}}{m_1^s} - (\omega_1^s)^2$	$\frac{b_1^s a_{28}}{m_1^s} - \frac{\omega_1^s v_1^s}{\pi}$	$-\frac{b_1^s a_{29}}{m_1^s}$	$-\frac{b_1^s a_{210}}{m_1^s}$
$i = 10$	$-\frac{b_2^s a_{23}}{m_2^s}$	$-\frac{b_2^s a_{24}}{m_2^s}$	$-\frac{b_2^s a_{25}}{m_2^s}$	$-\frac{b_2^s a_{26}}{m_2^s}$	$-\frac{b_2^s a_{27}}{m_2^s}$	$-\frac{b_2^s a_{28}}{m_2^s}$	$-\frac{b_2^s a_{29}}{m_2^s} - (\omega_2^s)^2$	$-\frac{b_2^s a_{210}}{m_2^s} - \frac{\omega_2^s v_2^s}{\pi}$

Качество процесса стабилизации углового положения КАН целесообразно оценивать, во-первых, с позиции точности удержания вектора состояния объекта (2) в малой окрестности точки  $X_0 = O_{\langle 10 \rangle}$ , размер которой определяется функционалом  $g_Q = X^T Q X = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} Q_{ij} x_i x_j$ , а во-вторых, с позиции минимизации затрат энергии на управление с использованием электромеханических ИО (ЭМИО), которые определяются функционалом  $g_R = Ru^2$ .

Задача оптимального в смысле экономичности и точности управления процессом стабилизации углового положения объекта (2) может быть сформулирована как задача минимизации квадратичного функционала качества в форме уравнения Лагранжа [1, 2, 9]:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^\infty [g_Q(\tau) + g_R(\tau)] d\tau = \frac{1}{2} \int_0^\infty \left[ \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} Q_{ij} x_i(\tau) x_j(\tau) + Ru^2(\tau) \right] d\tau, \quad (3)$$

где  $Q = [Q_{ij}, i, j = \overline{1, 10}]$  – положительно определенная симметрическая матрица, определяющая требования по точности процесса стабилизации;

$R$  – параметр экономичности процесса стабилизации.

Решение сформулированной задачи оптимального управления процессом угловой стабилизации КАН в режиме реального времени требует введения контура обратной связи, формирующего линейный закон управления следующего вида:

$$u(t) = -K^T(t)X(t), \quad (4)$$

где  $K^T(t)$  – 10-мерный вектор искомых коэффициентов усиления контура обратной связи,

$$K^T(t) = R^{-1} \cdot B^T G^{-1}(t);$$

$G(t)$  – матричная функция, определяемая как решение уравнения Риккати,

$$\dot{G}(t) = AG(t) + G(t)A^T + G(t)Q^T G(t) - BR^{-1}B^T.$$

Возможность практической реализации модальных регуляторов теснейшим образом связана с вопросами информационного обеспечения контура управления угловым движением, которые подробно рассмотрены в работах [2, 3, 4, 9]. В работах [3, 5-8] убедительно показано, что в рассматриваемом случае для получения необходимых оценок параметров состояния динамических систем предпочтительно использовать динамические наблюдающие устройства (наблюдатели), синтезированные с использованием метода асимптотической идентификации Д. Люенбергера [11].

## ПРИНЦИП АСИМПТОТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Основным достоинством асимптотических идентификаторов является то, что ошибка идентификации с течением времени убывает, а получаемые оценки асимптотически сходятся к искомым значениям параметров вектора состояния динамической системы, то есть гарантируется состоятельность процесса оценивания при широком спектре действующих на динамическую систему ограниченных координатно-параметрических возмущений. При этом можно выделить три основных источника этих ошибок:

- координатные возмущения, обусловленные ошибками задания вектора параметров начального состояния идентифицируемого объекта;
- координатные возмущения, обусловленные ошибками задания вектора параметров начального состояния самого идентификатора;
- параметрические возмущения, обусловленные ошибками задания структуры и параметров динамической модели идентифицируемого объекта.

К тому же предполагается, что математическая модель движения линейной динамической системы «объект оценивания – измеритель» может быть представлен в нормальной форме Коши:

$$\dot{X}(t) = A(t)X(t) + B(t)u(t); \quad (5)$$

$$Y(t) = C(t)X(t), \quad (6)$$

где  $X$  – вектор параметров состояния ДС, имеющий размерность  $n$  ( $n$ -мерный вектор состояния ДС);

$Y$  –  $r$ -мерный вектор измеряемых параметров;

$u$  –  $m$ -мерный вектор управляющих параметров;

$A(t)$  –  $n \times n$ -мерная матричная функция динамического объекта, являющегося и объектом управления и объектом наблюдения;

$B(t)$  –  $n \times m$ -мерная матричная функция, характеризующая эффективность органов управления объектом (исполнительных органов);

$C(t)$  –  $r \times n$ -мерная матричная функция измерителя.

Линейная задача наблюдения (оценивания) компонент вектора состояния системы (5), (6) может быть сформулирована следующим образом. Необходимо найти такой функциональный оператор  $\Psi: u \times Y \times T \rightarrow \hat{X}$  отображения множества входных реализаций  $u_{(t_0, t^*]}$  (входов системы) и множества выходных реализаций процесса  $Y_{(t_0, t^*]}$  (выходов системы) на интервале

оценивания  $T = (t_0, t^*]$  в множество  $\hat{X}(t^*)$  идентифицируемых состояний системы на правом конце интервала наблюдения  $T$ , который обладал бы свойством инъективности, то есть взаимной однозначности. Таким образом, в общем случае оператор оценки состояния динамической системы по результатам наблюдения может быть представлен в следующем виде:

$$\hat{X}(t^*) = \Psi(Y_{(t_0, t^*]}, u_{(t_0, t^*]}). \quad (7)$$

Вопрос о принципиальной возможности получения искомой оценки  $\hat{X}(t^*)$ , как известно, решается с использованием так называемого критерия наблюдаемости (КН). Один из таких критериев полной наблюдаемости для линейной динамической системы сводится к определению ранга матрицы

$$Q(t) = [Q_i^T(t), i = \overline{1, v}], \quad (8)$$

где  $Q_i(t) = C(t)$ ;

$$Q_{i+1}(t) = Q_i(t)A(t) + \dot{Q}_i(t);$$

$n$  – размерность вектора  $X$ ;

$C(t)$  – матрица измерителя, имеющая в общем случае размерность  $n \times m$  ( $m \leq n$ );

$v \leq n-1$  – так называемый индекс наблюдаемости, представляющий собой наименьшее из возможных значений параметра  $i$ , при которых выполняется условие  $\text{rang}(Q) = n$ .

Критерий наблюдаемости (8) приведен для случая нестационарности (зависимости от времени компонент матриц  $A$  и  $C$ ) системы (5), (6). Для стационарного случая данный критерий, естественно, имеет более простой вид:  $Q = [Q_i^T, i = \overline{1, v}]$ , где  $Q_1 = C$ ;  $Q_{i+1} = Q_i A$ ,  $v \leq n-1$ . При этом, если КН выполняется при  $v = n-1$ , то система (5), (6) является полностью наблюдаемой с использованием дифференциального или интегрального наблюдателя (идентификатора), размерность вектора состояния которого  $Z$  равна  $n$ , то есть совпадает с размерностью вектора  $X$  оцениваемых параметров систем (6).

В соответствии с теорией асимптотической идентификации [11] уравнение линейного наблюдателя (идентификатора) для системы (5), (6) в общем случае может быть представлено в следующем виде:

$$\dot{Z}(t) = F(t)Z(t) + G(t)Y(t) + H(t)u(t), \quad (9)$$

где  $F$  – матрица параметров идентификатора;

$G, H$  – матрица параметров линейной обратной связи по входу и выходу объекта идентификации (5), (6).

Векторы  $X$  и  $Z$  в общем случае имеют одинаковую размерность и связаны неособым координатным преобразованием

$$Z(t) = T(t)X(t) \quad (10)$$

с помощью  $n \times n$ -мерной матрицы  $T$ , имеющей себе обратную  $R = T^{-1}$ . То есть в общем случае справедлива запись  $X(t) = R(t)Z(t)$ , а точнее

$$\hat{X}(t) = R(t)Z(t), \quad (11)$$

где  $\hat{X}(t)$  – искомая оценка вектора параметров состояния объекта (7).

Предположим, что вектор  $X(t)$  состояния системы (7) и  $n$ -мерный вектор  $Z(t)$  состояния идентификатора (9) с учетом возможных погрешностей оценивания связаны соотношением

$$Z(t) = T(t)X(t) - e(t), \quad (12)$$

где  $e(t)$  –  $n$ -мерный вектор ошибки идентификации.

Проводя дифференцирование обеих частей выражения (12) и подставляя полученный результат

$$\dot{Z}(t) = \dot{T}(t)X(t) + T(t)\dot{X}(t) - \dot{e}(t)$$

совместно с (6) и (10) в уравнение идентификатора (9), получим соотношение:

$$\dot{T}(t)X(t) + T(t)\dot{X}(t) - \dot{e}(t) = F(t)[T(t)X(t) - e(t)] + G(t)C(t)X(t) + H(t)u(t),$$

которое после подстановки в него соотношений (5) и приведения подобных примет вид:

$$[\dot{T} + TA - FT - GC]X + [TB - H]u + [Fe - \dot{e}] = 0. \quad (13)$$

Полученное соотношение с учетом произвольности вектора  $X(t)$  и параметра  $u(t)$  имеет смысл только при выполнении расширенной системы условий:

$$\begin{cases} \dot{T} + TA - FT = GC; \\ H = TB; \\ \dot{e} = Fe. \end{cases} \quad (14)$$

Основным принципом асимптотической идентификации выступает выполнение условия  $\lim_{t \rightarrow \infty} [RZ(t)] = X(t)$ , которое с учетом выражения (12) может быть трансформировано к виду:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0. \quad (15)$$

А поскольку динамика ошибок оценивания определяется моделью, представленной третьим соотношением системы (14), то для выполнения условия (15) к матрице  $F$  могут быть предъявлены вполне определенные требования. В частности, для обеспечения максимальной скорости убывания ошибки оценивания необходимо, чтобы действительные части собственных значений матрицы  $F$  были отрицательными и максимально возможными по абсолютной величине.

Первое из соотношений системы (14) устанавливает взаимосвязь между матрицей  $F$  параметров идентификатора и матрицей  $A$  параметров объекта идентификации (5). В частности, по аналогии с выражением (12) имеет место следующая зависимость:

$$F = [\dot{T} + TA - GC]T^{-1}$$

или с учетом принятого в выражении (9) обозначения  $R = T^{-1}$ :

$$F = [\dot{T} + T(A - RGC)]R. \quad (16)$$

На основе данного соотношения несложно показать, что собственные значения матриц  $A$  и  $F$  не должны совпадать. Поскольку используемые в выражении (16) матрицы  $A$  и  $C$  заданы условием задачи (5),(6), то желаемые значения собственных значений матрицы  $F$  могут быть обеспечены только выбором матрицы  $G$  коэффициентов обратной связи идентификатора (9).

## ПОЛНОРАЗМЕРНЫЕ АСИМПТОТИЧЕСКИЕ ИДЕНТИФИКАТОРЫ ВЕКТОРА СОСТОЯНИЯ ЛИНЕЙНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Пусть модель движения линейной нестационарной (имеющей зависящие от времени компоненты матриц  $A$ ,  $B$  и  $C$ ) динамической системы «объект оценивания – измеритель» представлен в нормальной форме Коши (5), (6).

Предположим, что система (5), (6) является полностью наблюдаемой, поскольку критерий наблюдаемости (8) выполняется с индексом наблюдаемости  $\nu = n - 1$ , где  $n$  – размерность вектора  $X$  параметров состояния ДС (5).

Для идентификации (оценивания) вектора  $X$  воспользуемся линейным нестационарным наблюдающим устройством (идентификатором):

$$\dot{Z}(t) = F(t)Z(t) + G(t)Y(t) + H(t)u(t), \quad (17)$$

где  $Z$  –  $n$ -мерный вектор параметров состояния идентификатора;

$F$  – матрица параметров идентификатора;

$G, H$  – матрицы параметров линейной обратной связи по входу и выходу объекта идентификации (5),(6).

Поскольку векторы  $X$  и  $Z$  имеют одинаковую размерность, то они могут быть связаны не особым координатным преобразованием

$$Z(t) = T(t)X(t) \quad (18)$$

с помощью  $n \times n$ -мерной матрицы  $T$ , имеющей себе обратную  $R = T^{-1}$ . То есть в общем случае справедлива запись  $X(t) = R(t)Z(t)$ , а точнее

$$\hat{X}(t) = R(t)Z(t), \quad (19)$$

где  $\hat{X}(t)$  – искомая оценка вектора параметров состояния объекта (5).

Проводя дифференцирование обеих частей выражения (18) с учетом нестационарности матрицы  $T$ , получим:

$$\dot{Z}(t) = \dot{T}(t)X(t) + T(t)\dot{X}(t),$$

а подставляя полученный результат совместно с (6) и преобразованное к виду  $Z(t) = T(t)\hat{X}(t)$  соотношение (19) в уравнение идентификатора (17), получим следующее соотношение:

$$\dot{T}(t)\hat{X}(t) + T(t)\dot{\hat{X}}(t) = F(t)T(t)\hat{X}(t) + G(t)Y(t) + H(t)u(t),$$

которое после приведения подобных примет вид:

$$T(t)\dot{\hat{X}}(t) = [F(t)T(t) - \dot{T}(t)]\hat{X}(t) + G(t)Y(t) + H(t)u(t). \quad (20)$$

Поскольку матрицы  $T$  и  $H$  в соответствии с принципом асимптотической идентификации удовлетворяют соотношениям (14):

$$\dot{T} + TA - FT = GC;$$

$$H = TB,$$

первое из которых непосредственно дает равенство

$$\dot{T} = FT - TA + GC, \quad (21)$$

то, подставив полученные результаты в соотношение (20), умножив обе части уравнения на  $R = T^{-1}$ , учитывая, что  $RT = E$  и приведя подобные, получим:

$$\dot{\hat{X}} = (A - RGC)\hat{X} + RGY + Bu, \quad (22)$$

или

$$\dot{\hat{X}} = A\hat{X} + K(Y - C\hat{X}) + Bu, \quad (23)$$

где  $K(t)$  – нестационарная матрица коэффициентов обратной связи невязки вектора  $Y$  выходных (измеренных) параметров и их прогнозируемых значений  $C\hat{X}$ , полученных по результатам оценивания вектора  $\hat{X}$  параметров состояния идентифицируемого объекта  $K(t) = R(t)G(t)$ .

Для получения матрицы коэффициентов  $K(t) = T^{-1}(t)G(t)$  должно быть использовано решение матричного дифференциального уравнения (21) с учетом сделанных из условия (16) выводов относительно свойств матрицы  $F$ , определяющей не только динамику объекта (17) – идентификатора, но и характер процесса убывания ошибок оценивания, определяемого третьим соотношением системы (14).

Дифференциальное уравнение (21) при заданной начальной матрице  $T: T(t_0)$  (и соответственно  $R(t_0)$ ) **является избыточной системой**  $n \times n$  уравнений, содержащих  $n \times r$  неизвестных компонент матрицы  $G$ . Поэтому задача определения матрицы  $K$  может быть сформулирована в оптимизационной постановке по технологии, аналогичной предложенной в статье [8].

В случае введения предположения о стационарности матрицы  $T$ , например при рассмотрении некоторого установившегося процесса идентификации, для которого справедливо утверждение  $\dot{T} = 0$ , дифференциальное уравнение (21) вырождается в алгебраическое:

$$TA - FT = GC,$$

которое после умножения обеих частей на  $R$  примет вид:

$$RGC = KC = A - RFT. \quad (24)$$

Данное соотношение может быть использовано для поиска матрицы  $K$  коэффициентов усиления информационной невязки идентификатора (23) при известных матрицах  $A$  и  $C$ , а также выбранных (заданных) матрицах  $F$  и  $T$ .

Возможен, правда, еще один вариант приближенного решения поставленной задачи за счет использования операции так называемого псевдообращения матрицы  $C$ :

$$C^+ = (C^T C)^{-1} C^T.$$

Тогда искомая матрица  $K$  приближенно может быть определена по формуле

$$K = (A - RFT)C^+.$$

Следует также отметить, что если квадратная матрица  $T$  в выражении (18) не несет нагрузки преобразования координат, то она может быть выбрана единичной:  $R = T^{-1} = E$ . Тогда соотношения (18) и (19) соответственно примут вид:  $Z(t) = X(t)$ ;  $\hat{X}(t) = Z(t)$ , а выражение (24) существенно упростится:  $KC = GC = (A - F)$ .

### Список используемых источников

1. Красовский А.А. Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование. – М.: Наука, 1973. – 560 с.
2. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. – М.: Машиностроение, 1976. – 186 с.
3. Мануйлов Ю.С. Метод логико-аналитического синтеза в задачах оптимального и адаптивного управления. – МО СССР, 1986. – 186 с.
4. Мануйлов Ю.С. Теория управления пространственным угловым маневрированием космических аппаратов с упругими элементами конструкции. – МО РФ, 2001. – 497 с.
5. Мануйлов Ю.С., Смирнов С.В. Синтез асимптотических идентификаторов для нестационарных динамических объектов // Изв. вузов. Приборостроение. – 1986. – №7. – С. 16–20.
6. Мануйлов Ю.С., Корзников Ю.Г. Оценка качества процессов асимптотической идентификации фазового состояния динамических объектов // Программное обеспечение систем управления. – Харьков: АН СССР, 1991. – С. 19–24.
7. Синтез асимптотического идентификатора функционала от вектора состояния объекта с присоединенными осцилляторами / Ю.С. Мануйлов, В.В. Черныш, С.В. Мацыкин, А.О. Луканин // Вопросы анализа и синтеза алгоритмического и программного обеспечения систем управления. МО СССР. – 1983. – Вып. 2. – С. 115–120.
8. Асимптотические идентификаторы вектора состояния нестационарных линейных динамических объектов / Ю.С. Мануйлов, В.В. Черныш, В.В. Таран, С.В. Смирнов // Изв. вузов Приборостроение, – 1986. – №10. – С. 16–21.
9. Синтез и исследование оптимального регулятора угловой стабилизации космического аппарата наблюдения нежесткой конструкции / Ю.С. Мануйлов, Е.А. Новиков, А.Н. Кравцов, А.П. Маслов // Авиакосмическое приборостроение, – 2011. – №1. – С. 15–21.
10. Разыграев А.П. Основы управления полетом космических аппаратов и кораблей. – М.: Машиностроение, 1977. – 469 с.
11. Luenberger D.G. Observing the state of a linear system, IEEE Trans on military Electronic. – Apr., 1964. – Vol. MIL-8. – P. 74–80.
12. Yuksel Y, Bongiorno J. Observera for Linear Multivariable systems with Appliestions, IEEE Transactions on Automatic control. – Dec., 1971. – Vol. AC- 16, № 6.

И.Н. Некрасов

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Найдены оценки коэффициентов регрессии зависимости величины интервала попадания значения выходного сигнала, характеризующего блок как работоспособный, от достоверной вероятности нахождения данного блока в этом состоянии.

Ключевые слова: диагностирование, коэффициент регрессии, определитель, матрица, показатель согласованности, гипотеза.

Регрессионный анализ – совокупность статистических методов обработки экспериментальных данных, позволяющих в условиях стохастической зависимости исследуемой величины от неслучайных или случайных переменных определять данную зависимость.

Задачей регрессионного анализа является определение выборочной функции регрессии, наилучшим образом (в каком-либо смысле) соответствующей функции регрессии генеральной совокупности.

Для того чтобы данная задача была конструктивной, т. е. допускала решение, вводится ряд предположений, в рамках которых справедливо применение регрессионного анализа. Эти предположения состоят в следующем:

- 1) величина  $x$  является неслучайной, т. е. задается или измеряется без ошибок;
- 2) результаты наблюдений получены таким образом, что

$$M[\hat{y}_{ij}] = M_{\hat{y}_{ij}}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n};$$

- 3) для каждого  $x_i$  распределение величины  $\hat{y}$  имеет постоянную дисперсию:

$$D_{\hat{y}_i} = D_{\varepsilon_i} = \sigma_i^2 = \sigma^2.$$

Для исследования зависимости коэффициента  $k$ , определяющего величину интервала попадания значения выходного сигнала  $i$ -го блока системы вентиляции и кондиционирования воздуха, от вероятности  $P_i$  проведены испытания, результаты которых сведены в табл. 1. Необходимо построить уравнение регрессии  $y = f(x)$  в предположении, что оно является алгебраическим полиномом шестой степени. Расчеты произведем в скалярной форме. Построение уравнения регрессии сводится к решению задачи оценивания параметров, которые называются коэффициентами регрессии. Эта задача может быть решена на основе ряда принципов, являющихся базовыми для статистических методов обработки данных. В практике исследований наиболее широкое применение имеет подход, опирающийся на принцип максимального правдоподобия, и в частности подход, использующий метод наименьших квадратов [минимизация суммы квадратов отклонений (невязок) наблюдаемых значений результата от выборочной функции регрессии].

Таблица 1

Массив экспериментальных данных

№ п/п	$P_i = x$	$k = y$
1	0,6826	1
2	0,7062	1,05
3	0,7286	1,1
4	0,7498	1,15

Окончание табл. 1

№ п/п	$P_l=x$	$k=y$
5	0,7698	1,2
6	0,7888	1,25
7	0,8064	1,3
8	0,823	1,35
9	0,8384	1,4
10	0,853	1,45
11	0,8664	1,5
12	0,8788	1,55
13	0,8904	1,6
14	0,901	1,65
15	0,9108	1,7
16	0,9198	1,75
17	0,9282	1,8
18	0,9356	1,85
19	0,9424	1,9
20	0,9488	1,95
21	0,9544	2
22	0,9642	2,1
23	0,9722	2,2
24	0,9786	2,3
25	0,9836	2,4
26	0,9876	2,5
27	0,9906	2,6
28	0,993	2,7
29	0,9948	2,8
30	0,9962	2,9
31	0,9972	3

Оценка коэффициентов регрессии:

1. Предположим, что класс функций  $\Psi$  – это полиномы шестой степени:

$$y = a_0x^6 + a_1x^5 + a_2x^4 + a_3x^3 + a_4x^2 + a_5x + a_6. \quad (1)$$

Они являются функциями следующего вида:

$$y = f(x; a_0, a_1, \dots, a_k) = a_0f_0(x) + a_1f_1(x) + \dots + a_kf_k(x) = \sum_{j=1}^k a_jf_j(x). \quad (2)$$

Для данного случая выражение (2) представляется как

$$y = a_0f_0(x) + a_1f_1(x) + a_2f_2(x) + a_3f_3(x) + a_4f_4(x) + a_5f_5(x) + a_6f_6(x), \quad (3)$$

где

$$f_0(x) = x^6; f_1(x) = x^5; f_2(x) = x^4; f_3(x) = x^3; f_4(x) = x^2; f_5(x) = x; f_6(x) = 1. \quad (4)$$

2. Для функции (3) и заданного количества опытов система нормальных уравнений принимает вид:



$$|A_0| = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^{31} y_i x_i^6 & \sum_{i=1}^{31} x_i^8 & \cdots & \sum_{i=1}^{31} x_i^6 \\ \sum_{i=1}^{31} y_i x_i^5 & \sum_{i=1}^{31} x_i^7 & \cdots & \sum_{i=1}^{31} x_i^5 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \sum_{i=1}^{31} y_i & \sum_{i=1}^{31} x_i^2 & \cdots & n \end{vmatrix}; \quad (9)$$

Составляем расчетную таблицу для вычисления коэффициентов системы линейных уравнений (6) (табл. 2).

Таблица 2

Расчетная таблица

$\sum_{i=1}^{31} x_i$	$\sum_{i=1}^{31} y_i$	$\sum_{i=1}^{31} x_i^2$	$\sum_{i=1}^{31} x_i^3$	$\sum_{i=1}^{31} x_i^4$	$\sum_{i=1}^{31} x_i^5$	$\sum_{i=1}^{31} x_i^6$	$\sum_{i=1}^{31} x_i^7$	$\sum_{i=1}^{31} x_i^8$	$\sum_{i=1}^{31} x_i^9$	$\sum_{i=1}^{31} x_i^{10}$	$\sum_{i=1}^{31} x_i^{11}$
27,6812	57	24,989	22,7799	20,9463	19,4075	18,1022	16,9837	16,0159	15,1710	14,4272	13,7674
$\sum_{i=1}^{31} x_i^{12}$	$\sum_{i=1}^{31} y_i x_i$	$\sum_{i=1}^{31} y_i x_i^2$	$\sum_{i=1}^{31} y_i x_i^3$	$\sum_{i=1}^{31} y_i x_i^4$	$\sum_{i=1}^{31} y_i x_i^5$	$\sum_{i=1}^{31} y_i x_i^6$					
13,1778	52,4165	48,6049	45,3984	42,6708	40,3260	38,2902					

Получаем систему уравнений (6) с числовыми значениями коэффициентов при неизвестных:

$$\begin{cases} 13,18\tilde{a}_0 + 13,77\tilde{a}_1 + 14,42\tilde{a}_2 + 15,17\tilde{a}_3 + 16,02\tilde{a}_4 + 16,98\tilde{a}_5 + 18,1\tilde{a}_6 = 38,29; \\ 13,77\tilde{a}_0 + 14,42\tilde{a}_1 + 15,17\tilde{a}_2 + 16,01\tilde{a}_3 + 16,98\tilde{a}_4 + 18,1\tilde{a}_5 + 19,41\tilde{a}_6 = 40,33; \\ 14,42\tilde{a}_0 + 15,17\tilde{a}_1 + 16,01\tilde{a}_2 + 16,98\tilde{a}_3 + 18,1\tilde{a}_4 + 19,41\tilde{a}_5 + 20,95\tilde{a}_6 = 42,67; \\ 15,17\tilde{a}_0 + 16,01\tilde{a}_1 + 16,98\tilde{a}_2 + 18,1\tilde{a}_3 + 19,41\tilde{a}_4 + 20,95\tilde{a}_5 + 22,78\tilde{a}_6 = 45,39; \\ 16,01\tilde{a}_0 + 16,98\tilde{a}_1 + 18,1\tilde{a}_2 + 19,41\tilde{a}_3 + 20,95\tilde{a}_4 + 22,77\tilde{a}_5 + 24,99\tilde{a}_6 = 48,61; \\ 16,98\tilde{a}_0 + 18,1\tilde{a}_1 + 19,41\tilde{a}_2 + 20,95\tilde{a}_3 + 22,77\tilde{a}_4 + 24,99\tilde{a}_5 + 27,68\tilde{a}_6 = 52,42; \\ 18,1\tilde{a}_0 + 19,41\tilde{a}_1 + 20,95\tilde{a}_2 + 22,77\tilde{a}_3 + 24,99\tilde{a}_4 + 27,68\tilde{a}_5 + 31\tilde{a}_6 = 57. \end{cases}$$

Определитель  $|A|$  седьмого порядка вычисляем разложением по первой строке:

$$|A| = \begin{vmatrix} 13,18 & 13,77 & 14,42 & 15,17 & 16,01 & 16,98 & 18,1 \\ 13,77 & 14,42 & 15,17 & 16,01 & 16,98 & 18,1 & 19,41 \\ 14,42 & 15,17 & 16,01 & 16,98 & 18,1 & 19,41 & 20,95 \\ 15,17 & 16,01 & 16,98 & 18,1 & 19,41 & 20,95 & 22,77 \\ 16,01 & 16,98 & 18,1 & 19,41 & 20,95 & 22,77 & 24,99 \\ 16,98 & 18,1 & 19,41 & 20,95 & 22,77 & 24,99 & 27,68 \\ 18,1 & 19,41 & 20,95 & 22,77 & 24,99 & 27,68 & 31 \end{vmatrix}.$$

Данный и вновь получаемые определители будем также раскладывать по первой строке до момента образования определителей третьего порядка. В итоге перед нами предстанет 810 определителей третьего порядка, значения которых легко можно найти, воспользовавшись правилом Саррюса. Сложив полученные величины, мы найдем значение  $|A|=1,25 \cdot 10^{-7}$ .

Аналогичным способом определим оставшиеся определители, а именно:

$$\begin{aligned} |A| &= 1,25 \cdot 10^{-7}; & |A_3| &= -0,18 \cdot 10^{-7}; \\ |A_0| &= 3,71 \cdot 10^{-7}; & |A_4| &= -0,83 \cdot 10^{-7}; \\ |A_1| &= 1,19 \cdot 10^{-7}; & |A_5| &= -0,67 \cdot 10^{-7}; \\ |A_2| &= -1,95 \cdot 10^{-7}; & |A_6| &= 2,1 \cdot 10^{-7}. \end{aligned}$$

По формулам (7) вычисляем оценки коэффициентов регрессии:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_0 &= \frac{3,71 \cdot 10^{-7}}{1,25 \cdot 10^{-7}} = 2,968; & \tilde{a}_4 &= \frac{-0,83 \cdot 10^{-7}}{1,25 \cdot 10^{-7}} = -0,664; \\ \tilde{a}_1 &= \frac{1,19 \cdot 10^{-7}}{1,25 \cdot 10^{-7}} = 0,952; & \tilde{a}_5 &= \frac{-0,67 \cdot 10^{-7}}{1,25 \cdot 10^{-7}} = -0,536; \\ \tilde{a}_2 &= \frac{-1,95 \cdot 10^{-7}}{1,25 \cdot 10^{-7}} = -1,56; & \tilde{a}_6 &= \frac{2,1 \cdot 10^{-7}}{1,25 \cdot 10^{-7}} = 1,28. \\ \tilde{a}_3 &= \frac{-0,18 \cdot 10^{-7}}{1,25 \cdot 10^{-7}} = -0,144; \end{aligned}$$

Получили уравнение регрессии:

$$\tilde{y} = 2,968x^6 + 0,952x^5 - 1,56x^4 - 0,144x^3 - 0,664x^2 - 0,536x + 1,28 \quad (10)$$

4. Проверяем адекватность регрессионной зависимости экспериментальным данным. Для этого необходимо вычислить оценки дисперсий. Составляем табл. 3.

Таблица 3

Данные, необходимые для оценки дисперсий

$x_i$	$y_i$	$y_i - \bar{y}^*$	$(y_i - \bar{y}^*)^2$	$\tilde{y}_i$	$y_i - \tilde{y}_i$	$(y_i - \tilde{y}_i)^2$
0,6826	1	-0,83871	0,703434	1,016762	-0,01676	0,000281
0,7062	1,05	-0,78871	0,622063	1,048841	0,001159	1,34E-06
0,7286	1,1	-0,73871	0,545692	1,089329	0,010671	0,000114
0,7498	1,15	-0,68871	0,474321	1,138037	0,011963	0,000143
0,7698	1,2	-0,63871	0,40795	1,194527	0,005473	$3 \cdot 10^{-5}$
0,7888	1,25	-0,58871	0,346579	1,258854	-0,00885	$7,84 \cdot 10^{-5}$
0,8064	1,3	-0,53871	0,290208	1,328747	-0,02875	0,000826
0,823	1,35	-0,48871	0,238837	1,404664	-0,05466	0,002988

Окончание табл. 3

$x_i$	$y_i$	$y_i - \bar{y}^*$	$(y_i - \bar{y}^*)^2$	$\tilde{y}_i$	$y_i - \tilde{y}_i$	$(y_i - \tilde{y}_i)^2$
0,8384	1,4	-0,43871	0,192466	1,484538	-0,08454	0,007147
0,853	1,45	-0,38871	0,151095	1,569314	-0,11931	0,014236
0,8664	1,5	-0,33871	0,114724	1,655399	-0,1554	0,024149
0,8788	1,55	-0,28871	0,083353	1,742511	-0,19251	0,037061
0,8904	1,6	-0,23871	0,056982	1,830779	-0,23078	0,053259
0,9544	2	0,16129	0,026014	2,439701	-0,4397	0,193337
0,9642	2,1	0,26129	0,068272	2,549341	-0,44934	0,201907
0,9722	2,2	0,36129	0,13053	2,640861	-0,44086	0,194359
0,9786	2,3	0,46129	0,212788	2,714871	-0,41487	0,172118
0,9836	2,4	0,56129	0,315046	2,772851	-0,37285	0,139018
0,9876	2,5	0,66129	0,437304	2,819132	-0,31913	0,101845
0,9906	2,6	0,76129	0,579562	2,853676	-0,25368	0,064351
0,993	2,7	0,86129	0,74182	2,881148	-0,18115	0,032815
0,9948	2,8	0,96129	0,924078	2,901629	-0,10163	0,010328
0,9962	2,9	1,06129	1,126336	2,917471	-0,01747	0,000305
0,9972	3	1,16129	1,348594	2,928734	0,071266	0,005079
$\sum_{i=1}^{31} (y_i - \bar{y}^*)^2 = 10,21855$				$\sum_{i=1}^{31} (y_i - \tilde{y}_i)^2 = 2,169174$		

Необходимые данные для вычисления оценок дисперсий  $\sigma^2$  и  $\sigma_1^2$  берем из табл. 3:

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{31} (y_i - \bar{y}^*)^2}{n - 1} = \frac{10,21855}{30} = 0,3406;$$

$$\tilde{\sigma}_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^{31} (y_i - \tilde{y}_i)^2}{n - k - 1} = \frac{2,169174}{27} = 0,0803.$$

Получаем наблюдаемое значение показателя согласованности:

$$F = \frac{\tilde{\sigma}^2}{\tilde{\sigma}_1^2} = \frac{0,3406}{0,0803} = 4,24.$$

Критическое значение показателя согласованности при уровне значимости  $\alpha = 0,01$  и степенях свободы  $f_1 = n - 1 = 30$ ,  $f_2 = n - k - 1 = 27$  находим из математических справочников:

$$F_{(0,01; 30; 27)} = 0,4126.$$

Очевидно, что  $F > F_{(0,01; 30; 27)}$ . Следовательно, нулевая гипотеза  $H_0$  о соответствии функции регрессии вида (10) экспериментальным данным принимается.

#### Список используемых источников

1. Сеньченков В.И. Статистические методы обработки экспериментальных данных. – СПб.: СПбГУАП, 2006. – 197 с.
2. Вентцель Е.С. Курс теории случайных процессов. – М.: Наука, 1996. – 239 с.

В.А. Попов,  
*кандидат техн. наук;*  
В.В. Козлов,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
Д.О. Моқан,  
*кандидат техн. наук;*  
Ю.Н. Тиличко

## **ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ОБЛИЦОВКИ СТЕН ГАЗООТВОДНЫХ КАНАЛОВ СТАРТОВОГО СООРУЖЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ЗАПУСКА РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «ПРОТОН» В УСЛОВИЯХ ЕГО РЕКОНСТРУКЦИИ**

В течение целого ряда лет на внутренних поверхностях газоходов пусковой установки (ПУ-39) площадки № 200, ракеты-носителя (РН) «Протон», службой эксплуатации стартового комплекса фиксируются значительные повреждения бетонной части монолитных конструкций (стены, потолок, днище), а также металлической облицовки нижней части стен газоходов. Фиксируемые повреждения внутренних поверхностей газоходов требуют постоянных ремонтно-восстановительных работ и больших финансовых затрат. В связи с предстоящей реконструкцией ПУ-39, специалисты Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского в 2012 году провели углубленное обследование газоходов стартового сооружения с обоснованием новых конструктивных решений облицовки, сроков и объемов работ, способствующих продлению ресурса основных конструктивных элементов газоходов.

Ключевые слова: стартовое сооружение, газоход, реконструкция, газодинамические нагрузки, ресурс.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Значительные повреждения внутренних поверхностей газоходов стартового сооружения создают предпосылки к снижению их несущей способности с образованием в локальных местах вымывов бетона из стен газоходов глубиной до 200 мм и более, с оголением и одновременным оплавлением рабочей арматуры. В ходе эксплуатации в металлических панелях облицовки нижней части стен газоходов образуются выгибы, деформации, в отдельных местах трещины хаотичного направления различной длины и ширины раскрытия. При этом количество трещин в облицовке, а также глубина вымывов бетона из стен нарастает с проведением очередных летно-конструкторских испытаний (ЛКИ).

Обследование газоходов ПУ-39 (рис. 1) осуществлялось в соответствии с ГОСТ Р. 53778-2010 [1] и разработанной «Программой обследования...», определяющей порядок проведения, применяемые методы и средства, основные технические требования, состав и этапы работ по обследованию.

Целью обследования являлась оценка фактического технического состояния строительных конструкций газоходов и газоотводных лотков, выявление объемов работ, возможности и условия проведения реконструкции стартового сооружения.

Основными задачами обследования стали:

- 1) разработка рекомендаций по восстановлению железобетонных стен, потолков, днища и лотков газоходов;
- 2) разработка дополнительных эскизных решений на реконструкцию газоходов с учетом частичной облицовки металлом нижней, наиболее нагруженной, зоны стен, способствующих продлению их работоспособности при проводимых ЛКИ.

## ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГАЗОХОДОВ

Все каналы газоходов разделены между собой железобетонными монолитными «быками», основанием которых является фундаментная плита сооружения, а верхняя часть «быков» служит основанием для перекрытий помещений опор первого этажа. В центральной части сооружения под конусным отражателем на фундаментной плите располагается помещение сборки № 3 агрегата 8У259. Криволинейные стены газоходов толщиной от 1000 до 3000 мм и более выполнены из монолитного железобетона с покрытием жаропрочным торкретбетоном различной толщины. Роль потолка газоходов выполняют перекрытия пола верхнего этажа сооружения. Толщина перекрытий над газоходами – 400 мм.

Днищем газоходов является фундаментная плита пускового устройства, состоящая из монолитного железобетона марки 300, толщина плиты 800 мм. Высота каналов газоходов 2,5 м. Все газоходы имеют коробчатую форму с переменным сечением по длине каналов, при этом периферийные каналы – криволинейного очертания, а центральные – прямолинейного вида (рис. 1). Цифрой 1 на рисунке обозначены типы стен, наиболее интенсивно омываемые газодинамическим потоком.

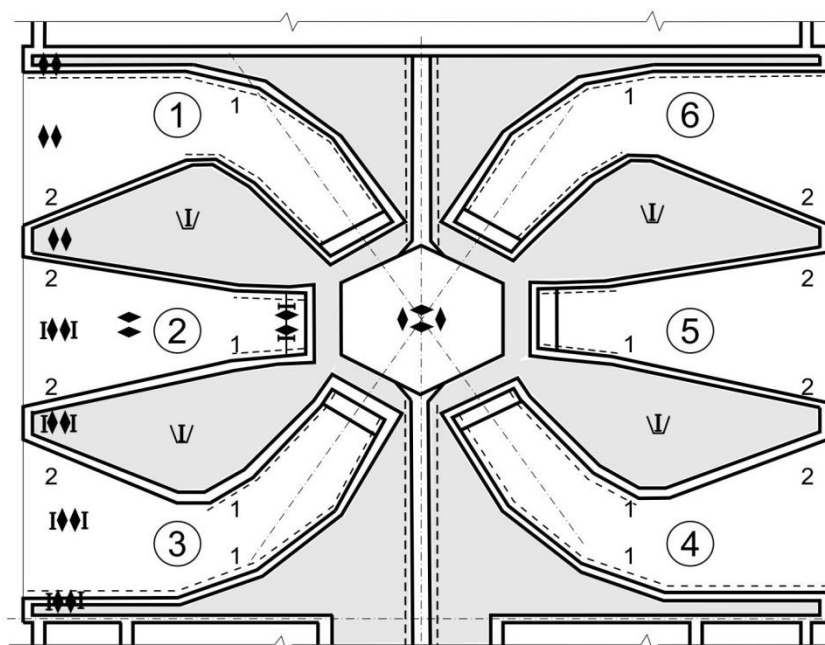


Рис. 1. Типы стен (1 и 2) газоходов (1-6), подлежащие ремонту в зависимости от интенсивности воздействия на них газодинамического потока

Внутренние поверхности стен газоходов частично облицованы в своей нижней части стальными панелями различной толщины, высоты и длины.

## ОБСЛЕДОВАНИЕ ГАЗОХОДОВ

Обследование газоходов проводилось в два этапа. **Первый этап** – до запуска РН «Протон» 20.05.2011 г.; **второй этап** – непосредственно после запуска РН. Перед запуском во всех газоотводных каналах сооружения службой эксплуатации были проведены ремонтно-восстановительные работы по выравниванию бетонных стен цементно-песчаным раствором, заварке трещин и замене вышедших из строя анкеров в металлической облицовке. Принятая очередность обследования позволила выявить наиболее слабые места в газоходах и лотках, степень повреждений и объемы восстановления.

В ходе обследования зафиксированы многочисленные вымывы бетона из стен большинства газоходов на различную глубину (50–200 мм), локальные вымывы бетона из днища (40–100 мм) и потолков (40–80 мм) с частичным оголением арматурных сеток и стержней.

Для оценки прочности бетона на сжатие применен ультразвуковой метод контроля с использованием ультразвукового прибора «Пульсар 1.2» [4]. Средняя прочность поверхностного слоя бетона в измеренных точках газоходов на глубине 15–20 мм находилась в диапазоне от 2,0 до 5,5 МПа, что в 5–10 раз ниже проектной (марка бетона по проекту 300). Зафиксированная прочность бетона вполне закономерна, так как при нагреве бетона до 1200–1400° С прочность поверхностного слоя бетона резко снижается. Более глубокие слои бетона имеют прочность 26–28 МПа, что соответствует марке бетона, близкой к проектной. Повреждения стен газоходов в соответствии с ГОСТ 15467-79 [2] классифицированы как «значительные», а техническое состояние в соответствии с СП 13-102-2003г.[3] – как «ограниченно работоспособное».

Воспринимая сложные газодинамические нагрузки, металл облицовки изменяет свои первоначальные свойства и находится в сложном напряженно-деформированном состоянии, которое приводит к локальным выгибам, выпучиваниям, кручению с отклонением от вертикали, к появлению трещин в наиболее напряженных местах.

Так, часть панелей стальной облицовки на высоте 100–120 см получила *значительные* локальные выгибы от 50 до 100 мм, в том числе в верхней части панелей с отклонением их от стен на 50–80 мм. В отдельных газоходах зафиксирована значительная деформация металлической облицовки с образованием в локальных местах (в основном по сварным швам) сквозных трещин различной длины и ширины раскрытия. До 20 % анкеров крепления стальных панелей к железобетонным стенам оборваны или потеряли свою несущую способность.

Ультразвуковые измерения параметров временного сопротивления стали в местах интенсивного омыwania газодинамическим потоком стальных панелей показали, что облицовка толщиной 40 мм близка к проектным показателям стали марки С 255. В панелях меньшей толщины параметры стали существенно отличаются от физико-механических характеристик стали марки С 255. Повреждения панелей металлической облицовки классифицированы как «критические», а их техническое состояние как «аварийное».

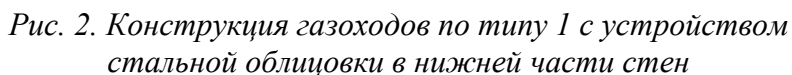
## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ СТАРТОВОГО СООРУЖЕНИЯ

На основе комплексного анализа результатов обследования и оценки технического состояния конструкций газоходов, а также зафиксированных повреждений выработаны и обоснованы предложения по реконструкции стартового сооружения. Восстановление эксплуатационной пригодности стартового сооружения может быть осуществлено по одному из двух вариантов.

**Вариант №1.** Стены газоходов первого и второго типа подвергаются реконструкции на всю высоту (2,5 м) путем вырубки из них бетона слабой прочности на глубину 200 мм – для стен, ремонтируемых по первому типу, и 140 мм – для стен, ремонтируемых по второму типу (рис. 1).

Выровненные и подготовленные к последующему бетонированию стены усиливаются путем навешивания на предварительно установленные химические анкеры дополнительных плоских сеток с ячейками 200×200 диаметром стержней 20 мм из горячекатаной арматуры марки Ст 3 класса А III периодического профиля. Подготовленные таким образом конструкции стен покрываются жаропрочным торкретбетоном класса 35–40 до отметок, ограничивающих проектное сечение газохода. При этом дополнительной облицовки стен не предусматривается. Состав жаропрочного бетона (как вариант) может быть рекомендован из следующих материалов: 1) высокоглиноземистый цемент с содержанием глинозема 65–80 % марки

**Вариант №2.** С целью увеличения ресурса газоотводных каналов в рамках реальных условий и интенсивной эксплуатации пускового устройства предлагается решение на создание дополнительной стальной облицовки нижней части реконструированных по первому варианту стен газоходов. Высота вертикальной стальной стенки 1,5 м, она выполнена из стали (Ст. 20), которая обеспечивает, согласно расчетам, дополнительное экранирование бетона от силового воздействия газового потока (рис. 2).



Одновременно разработаны варианты раскроя боковых стальных панелей в зависимости от их толщины, длины и высоты, а также определены места установки панелей в газоходах (рис. 3, 4).

Вариант реконструкции № 2 стен газоходов, с одной стороны, обеспечивает устойчивость нижней зоны стен к газодинамическим нагрузкам, с другой стороны – он существенно дороже первого варианта реконструкции и значительно сложнее по производству строительных работ. Приоритет выбираемого варианта реконструкции зависит от требуемых сроков, объемов предполагаемых работ и наличия финансирования.

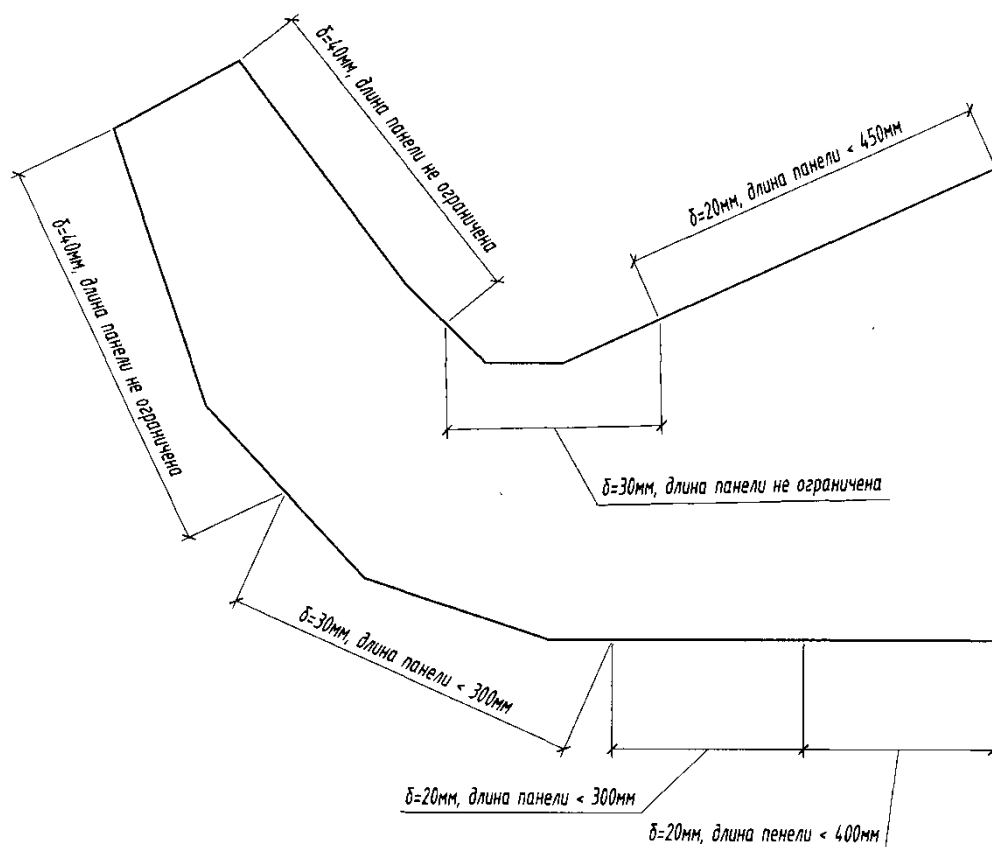


Рис. 3. Схема распределения толщин и длин металлических панелей облицовки высотой 150 см газоходов № 1, 3, 4, 6

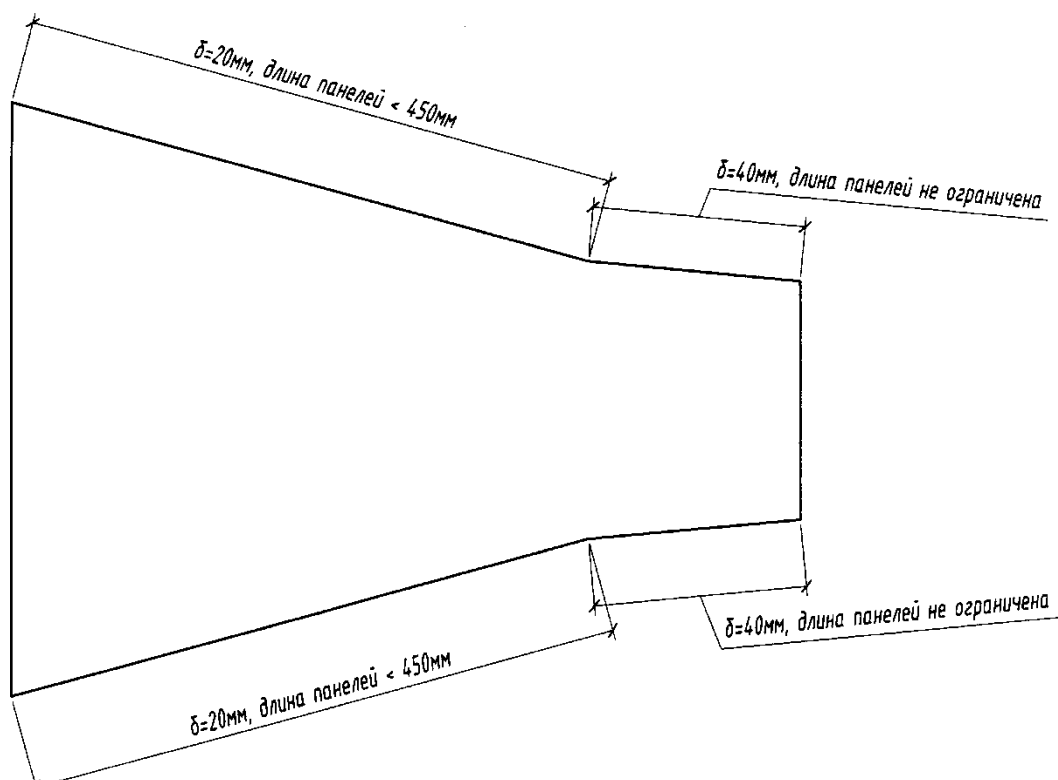


Рис. 4. Схема распределения толщин и длин металлических панелей облицовки высотой 150 см газоходов № 2, 5

Восстановление конструкций потолка и днища газоходов целесообразно произвести путем разборки бетона по всей поверхности потолков на глубину до 100 мм (уточняется по месту) и днища на глубину до 150 мм (уточняется по месту). При этом разборку нужно проводить на 50 мм ниже проектного положения существующих арматурных сеток и каркасов. По подготовленной поверхности произвести послойное торкретирование потолочной части и днища жаропрочным бетоном класса В 35–40 на шамотном заполнителе.

Какие-либо дополнительные сетки и каркасы в поверхностный слой жаропрочного бетона стен и днища устанавливать не целесообразно.

Ремонт газоотводных лотков может быть выполнен по типу ПУ 24 с покрытием бетонной поверхности лотков металлической облицовкой толщиной 10 мм из Ст 3 пс класса А III.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Недостаточно качественные и своевременные ремонтно-восстановительные работы способствуют дальнейшему разрушению элементов газоходов и постепенному переходу ряда повреждений, классифицированных ранее как «значительные», в категорию «критических». Степень повреждений газоходов, особенно стальной облицовки, в отдельных случаях такова, что в ходе штатных испытаний может возникнуть опасность отрыва облицовки и выноса больших массивов бетона из газохода, что, в свою очередь, может привести к повреждениям РН либо к невозможности проведения последующих ЛКИ без срочных противоаварийных мероприятий.

На основе материалов, полученных в ходе обследования и расчета металлической облицовки, а также расчета стен газоходов на газодинамические и тепловые нагрузки, определены возможные варианты их восстановления. Одновременно в случае ремонта газоходов по варианту 2 предложены типы раскроя боковых стальных панелей в зависимости от их толщины, длины и высоты, а также определены места установки панелей в газоходах. Разработанные варианты реконструкции монолитных железобетонных стен, днища, потолков газоходов и газоотводных лотков будут способствовать повышению ресурса газоотводных каналов в условиях интенсивной эксплуатации стартовых сооружений.

## **Список используемых источников**

1. ГОСТ Р. 53778-2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2010. – 89 с.
2. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – М., 1986. – 34 с.
3. СП 13-102-2003г. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: Госстрой России. 2004. – 25 с.
4. Руководство по эксплуатации ультразвукового прибора «ПУЛЬСАР-1.2». – Челябинск: НПП Интерприбор, 2005.

А.И. Птушкин,  
кандидат техн. наук, профессор

## **МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ОБЪЕМА ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

В статье излагается методика оптимального распределения ограниченных средств на инновационное развитие объектов наземной космической инфраструктуры (НКИ), базирующаяся на предварительном определении функций чувствительности показателей качества функционирования этих объектов к вложению средств на реализацию работ по их модернизации. Как при определении названных функций чувствительности, так и при составлении планов модернизации при ограничении на ресурсы используется метод динамического программирования. Задача решается в достаточно общей постановке, когда множество работ по модернизации, кандидатов на внедрение, имеет альтернативные варианты. Рассмотрены особенности предложенного метода, выгодно отличающие его от других методов решения подобных задач. С помощью предложенной методики можно обосновать необходимый для модернизации НКИ объем финансирования, а в случае недофинансирования составить план оптимального расходования реально выделенных средств, обеспечивающий максимальное повышение эффективности ее функционирования.

Ключевые слова: наземная космическая инфраструктура, инвестиции, модернизация, показатели эффективности, функции отклика, динамическое программирование.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Инновационный путь развития экономики страны делает актуальным решение задачи финансового обеспечения инновационной деятельности. Инновационной будем называть деятельность по созданию и реализации новаций. При этом под новацией будем понимать новое знание, которое может быть внедрено в практику [1], а под инновацией – новацию, внедрение которой в практику даст существенный эффект [2].

В настоящее время основным направлением развития большинства сложных технических комплексов, к которым относятся и объекты НКИ, является их инновационная модернизация, осуществляемая в условиях жестких экономических ограничений. Под модернизацией объекта понимается его изменение, отвечающее современным требованиям [3], а под инновационной модернизацией – модернизация, в результате которой эффективность функционирования объекта модернизации существенно возрастает. В процессе мониторинга НКИ можно определить перечень работ на каждом виде оборудования объектов, входящих в ее состав, в результате выполнения которых могут быть улучшены показатели качества функционирования НКИ [4]. Каждая из таких работ должна характеризоваться затратами на ее проведение и вкладом в улучшение (ухудшение) названных показателей. Эта информация может быть использована в качестве исходных данных для последовательного определения соответствующих функций отклика показателей качества функционирования НКИ на проведение работ по совершенствованию отдельных видов оборудования, объектов, входящих в состав НКИ, и их совокупности, т. е. НКИ в целом. Полученные функции отклика, в свою очередь, являются исходным материалом для решения задачи определения оптимального объема работ по развитию НКИ, обеспечивающего требуемые значения показателей качества его функционирования при минимальных затратах. Рассмотрим последовательно математические постановки задач определения функций отклика и оптимальной программы развития НКИ.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

НКИ будем представлять как совокупность объектов, включающих в себя несколько видов оборудования, на котором проводятся работы по их совершенствованию.

Обозначим:  $I$  – количество модернизируемых объектов НКИ;  $J_i$  – количество видов оборудования в  $i$ -м объекте НКИ;  $K_{ij}$  – количество возможных мероприятий (работ), направленных на модернизацию  $j$ -го вида оборудования  $i$ -го объекта НКИ;  $N_{ijk}$  – количество вариантов выполнения  $k$ -й работы по модернизации  $j$ -го вида оборудования  $i$ -го объекта НКИ;  $L$  – количество показателей качества функционирования НКИ.

Задачу будем решать применительно к структуре работ по модернизации объектов НКИ, представленной на рис. 1.

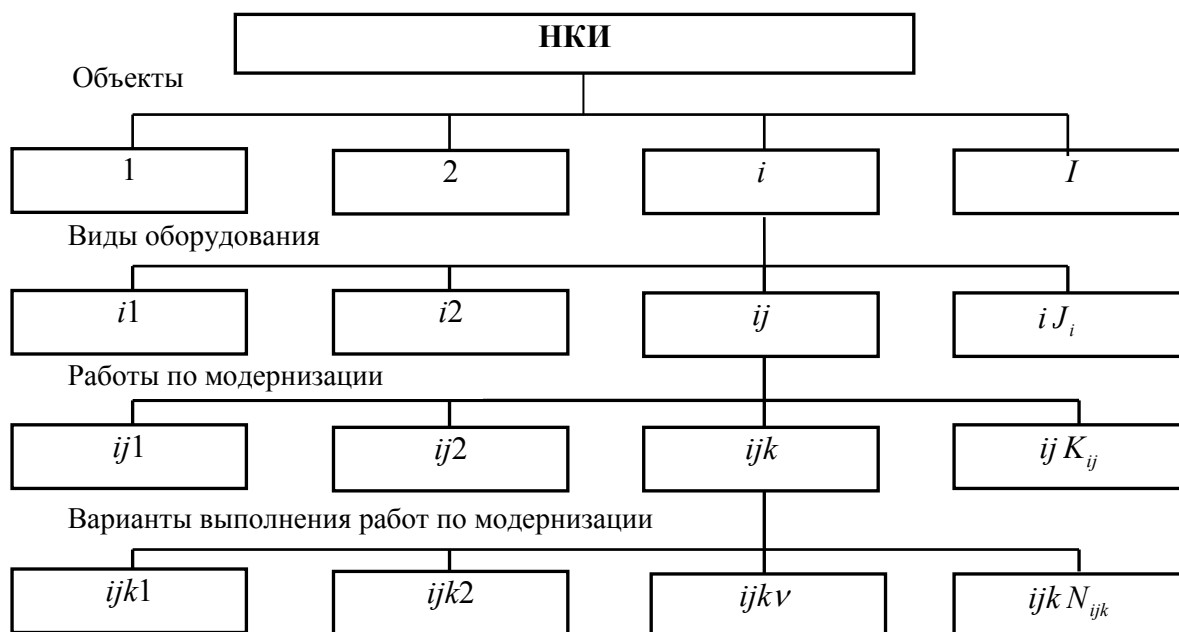


Рис. 1. Структура работ по модернизации объектов НКИ

Исходные данные для решения задач определения функций отклика отдельных видов оборудования целесообразно представить совокупностью таблиц, построенных для каждого вида оборудования и имеющих структуру, подобную структуре, приведенной в табл. 1. В этой таблице приняты следующие обозначения:  $r_{ijk}$  – условное наименование  $k$ -й работы по модернизации ( $k = \overline{1, K_{ij}}$ )  $j$ -го вида оборудования ( $j = \overline{1, J_i}$ ) на  $i$ -м объекте НКИ ( $i = \overline{1, I}$ );  $c_{ijkv}$  – затраты на выполнение  $v$ -го варианта ( $v = \overline{1, N_{ijk}}$ )  $ijk$ -й работы по модернизации НКИ;  $\Delta\pi_{ijkv}^\ell$  – приращение  $\ell$ -го показателя качества функционирования НКИ ( $\ell = \overline{1, L}$ ) за счет выполнения  $k$ -й работы по совершенствованию  $j$ -го вида оборудования  $i$ -го объекта НКИ.

Суммарное изменение показателей качества функционирования  $ij$ -го вида оборудования является некоторой функцией частных приращений этих показателей за счет выполнения  $ijk$ -работ по модернизации, т.е.

$$\Delta\pi_{ij}^\ell = f_{ij}^\ell(\Delta\pi_{ij1}^\ell, \Delta\pi_{ij2}^\ell, \dots, \Delta\pi_{ijk}^\ell, \dots, \Delta\pi_{ijK_{ij}}^\ell)$$

Эта функция часто является аддитивной или приводимой к аддитивной.

Таблица 1

**Исходные данные для определения функций отклика  
показателей качества видов оборудования объектов НКИ**

Перечень работ по модернизации	Стоимость выполнения работ	Приращение показателя качества функционирования НКИ				
		$\Delta\pi^1$	...	$\Delta\pi^\ell$	...	$\Delta\pi^L$
$r_{ij1}$		$\Delta\pi^1$		$\Delta\pi^\ell$		$\Delta\pi^L$
$r_{ij11}$	$c_{ij11}$	$\Delta\pi_{ij1}^1$	...	$\Delta\pi_{ij1}^\ell$	...	$\Delta\pi_{ij1}^L$
$\vdots$	$\vdots$	$\Delta\pi_{ij1}^1$				
$r_{ij1\nu}$	$c_{ij1\nu}$	$\Delta\pi_{ij1\nu}^1$	...	$\Delta\pi_{ij1\nu}^\ell$	...	$\Delta\pi_{ij1\nu}^L$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$r_{ijk}$						
$r_{ijk1}$	$c_{ijk1}$	$\Delta\pi_{ijk1}^1$	...	$\Delta\pi_{ijk1}^\ell$	...	$\Delta\pi_{ijk1}^L$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
$r_{ijk\nu}$	$c_{ijk\nu}$	$\Delta\pi_{ijk\nu}^1$	...	$\Delta\pi_{ijk\nu}^\ell$	...	$\Delta\pi_{ijk\nu}^L$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$r_{ijK}$	$c_{ijK}$	$\Delta\pi_{ijK}^1$	...	$\Delta\pi_{ijK}^\ell$	...	$\Delta\pi_{ijK}^L$

Свойством аддитивности, например, обладают такие широко используемые показатели, как эксплуатационные расходы или интенсивность (вероятность) отказа агрегата с последовательной структурной схемой надежности. Для таких показателей приведенная выше функция примет вид:

$$\Delta\pi_{ij}^\ell = \sum_{k=1}^{K_{ij}} \Delta\pi_{ijk}^\ell.$$

Тогда для решения задач определения функций отклика НКИ на совершенствование отдельных видов оборудования, объектов, в состав которых оно входит, а также совокупности этих объектов может быть применен метод динамического программирования [5]. Названные задачи решаются последовательно: сначала определяются функции отклика, характеризующие чувствительность показателей качества функционирования НКИ к совершенствованию отдельных видов оборудования, а затем на основе этих данных – к модернизации отдельных объектов и, наконец, определяется суммарная функция отклика. Сформулируем эти задачи.

В случае наличия в перечне работ по модернизации  $ij$ -го вида оборудования альтернативных вариантов показатели качества функционирования НКИ и ограничения на ресурсы, выделяемые на модернизацию, должны быть записаны в следующем виде:

$$\Delta\pi_{ij}^\ell = \sum_{k=1}^{K_{ij}} \Delta\pi_{ijk}^\ell (x_{ijk1}^\ell c_{ijk1} + \dots + x_{ijk\nu}^\ell c_{ijk\nu} + \dots + x_{ijkN_{ijk}}^\ell c_{ijkN_{ijk}})$$

$$\forall \ell, i, j, k, v \quad x_{ijkv}^{\ell} \in \{0, 1\}, \quad \forall \ell, i, j, k \quad \sum_{v=1}^{v_{jk}} x_{ijkv}^{\ell} = 1,$$

$$\sum_{k=1}^{K_{ij}} (x_{ijk1}^{\ell} c_{ijk1} + \dots + x_{ijkv}^{\ell} c_{ijkv} + \dots + x_{ijkv_{jk}}^{\ell} c_{ijkN_{jk}}) \leq C_{ij},$$

где  $C_{ij}$  – возможное количество средств, выделяемых на модернизацию  $j$ -го вида оборудования  $i$ -го объекта НКИ. В этом случае первая задача может быть сформулирована следующим образом.

### Задача 1.

**Дано:** зависимости  $\Delta \pi_{ijkv}^{\ell}(c_{ijkv})$ , представленные таблично.

**Найти:**

для  $\forall i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J_i}, \ell = \overline{1, L}$  и  $C_{ij} = c_{ij}^{\min}, c_{ij}^{\min} + \Delta c_{ij}, c_{ij}^{\min} + 2\Delta c_{ij}, \dots, c_{ij}^{\max}$

$$\overrightarrow{x_{ij}^{\ell}}^* = \underset{\overrightarrow{x_{ij}^{\ell}}}{\operatorname{argmax}} \sum_{k=1}^{K_{ij}} \Delta \pi_{ijk}^{\ell} (x_{ijk1}^{\ell} c_{ijk1} + \dots + x_{ijkv}^{\ell} c_{ijkv} + \dots + x_{ijkv_{jk}}^{\ell} c_{ijkN_{jk}})$$

при условии, что

$$\sum_{k=1}^{K_{ij}} (x_{ijk1}^{\ell} c_{ijk1} + \dots + x_{ijkv}^{\ell} c_{ijkv} + \dots + x_{ijkv_{jk}}^{\ell} c_{ijkN_{jk}}) \leq C_{ij},$$

где  $\overrightarrow{x_{ij}^{\ell}}^*$  – вектор, характеризующий оптимальный объем работ по модернизации  $j$ -го вида оборудования  $i$ -го объекта при выделении для этой цели ассигнований в размере  $C_{ij}$ ,

$$\overrightarrow{x_{ij}^{\ell}}^* = [\langle x_{ij11}^{\ell}, x_{ij12}^{\ell}, \dots, x_{ij1v_{j1}}^{\ell} \rangle, \dots, \langle x_{ijK_{ij}1}^{\ell}, x_{ijK_{ij}2}^{\ell}, \dots, x_{ijK_{ij}v_{jK_{ij}}}^{\ell} \rangle]^T;$$

$\Delta c_{ij}$  – точность распределения средств по работам плана модернизации  $j$ -го вида оборудования  $i$ -го объекта.

Каждому элементу вектора  $\overrightarrow{x_{ij}^{\ell}}^*$ , равному 1, соответствует работа  $r_{ijkv}$ , которую целесообразно внедрить, а элементы  $x_{ijkv}^{\ell}$ , равные нулю, указывают на то, что при данном уровне финансирования  $C_{ij}$  соответствующие им работы  $r_{ijkv}$  нецелесообразно выполнять.

Так как задача решается для спектра значений  $C_{ij}$ , то в результате ее решения получим не только оптимальный объем работ по модернизации  $j$ -го вида оборудования  $i$ -го объекта, но и дискретную функцию  $\Delta \pi_{ij}^{\ell}(c_{ij})$ , характеризующую чувствительность показателя качества функционирования  $i$ -го объекта к вложению средств на модернизацию  $j$ -го вида оборудования. Эта функция используется при решении следующей задачи: определение функций отклика показателей качества функционирования объектов НКИ на оптимальное вложение средств в модернизацию их оборудования.

### Задача 2.

**Дано:** зависимости  $\Delta \pi_{ij}^{\ell}(c_{ij})$ , полученные в результате решения первой задачи.

**Найти:** для всех  $i = \overline{1, I}$ ,  $\ell = \overline{1, L}$  и  $C_i = c_i^{\min}$ ,  $c_i^{\min} + \Delta c_i$ ,  $c_i^{\min} + 2\Delta c_i, \dots, c_i^{\max}$

$$\vec{c}_i^{\ell} = \operatorname{argmax}_{\vec{c}_i^{\ell}} \sum_{j=1}^{J_i} \Delta \pi_{ij}^{\ell}(c_{ij})$$

при условии, что  $\sum_{j=1}^{J_i} c_{ij} \leq C_i$ , где  $C_i$  – возможное количество средств, выделяемых на модерни-

зацию  $i$ -го объекта НКИ;  $\vec{c}_i^{\ell}$  – вектор, элементы которого характеризуют оптимальный объем работ по модернизации  $i$ -го объекта НКИ;  $\Delta c_i$  – точность распределения средств на модернизацию  $i$ -го объекта НКИ по видам оборудования.

### Задача 3.

**Дано:** зависимости  $\Delta \pi_i^{\ell}(c_i)$  для каждого  $i$ -го объекта НКИ, полученные в результате решения предыдущей задачи (задачи 2).

**Найти:** для всех  $C = c^{\min}$ ,  $c^{\min} + \Delta c$ ,  $c^{\min} + 2\Delta c, \dots, c^{\max}$

$$\vec{c}^{\ell} = \operatorname{argmax}_{\vec{c}^{\ell}} \sum_{i=1}^I \Delta \pi_i^{\ell}(c_i),$$

при условии, что  $\sum_{i=1}^I c_{ij} \leq C$ , где  $\vec{c}^{\ell}$  – вектор, элементы которого равны оптимальному

количеству средств, необходимому для модернизации  $i$ -го объекта НКИ;  $\Delta c$  – точность распределения средств на модернизацию  $i$ -го объекта НКИ.

Алгоритмы решения сформулированных задач основаны на использовании соответствующих им функциональных уравнений Беллмана [5] и приведены в работе [3].

На этапе прямого хода алгоритма динамического программирования будут получены функции, характеризующие соответственно увеличение эффективности функционирования оборудования каждого объекта, всех объектов НКИ и НКИ в целом за счет оптимального использования средств на их модернизацию, а на этапе его обратного хода [5] – оптимальные варианты выполнения работ по модернизации оборудования объектов НКИ.

## ПРИМЕР И ГРАФИЧЕСКАЯ ИЛЛЮСТРАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ

Изложенная методика была применена для выбора программы развития теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) г. Байконур [7]. Выбор этого объекта был не случаен. Названная ТЭЦ рассматривается как дополнительный надежный источник электроэнергии для объектов, размещенных на космодроме «Байконур». Экономическая целесообразность рассмотрения этого вопроса зависит от стоимости электроэнергии, производимой ТЭЦ, которая в настоящее время существенно превышает стоимость электроэнергии, которую может поставить Республика Казахстан. Однако надежность этих поставок довольно низкая. Частые отключения линий электропередачи приводят к срыву работ, проводимых на космодроме. Поэтому актуальным является резкое снижение стоимости электроэнергии, производимой Байконурэнерго. Добиться этого результата можно только путем модернизации ТЭЦ, направленной на обеспечение рационального использования топливно-энергетических ресурсов и рациональной организации эксплуатации оборудования ТЭЦ.

Обследование технического состояния и энергетический аудит оборудования ТЭЦ показал, что имеются существенные резервы повышения ее экономичности за счет модернизации оборудования. Наиболее существенный эффект, связанный со снижением эксплуатационных расходов, может быть получен при реализации работ по модернизации на системе циркуляционного охлаждения конденсаторов турбин, установках химводоподготовки и котлоагрегатах.

Экономические показатели предложенных работ и вариантов их выполнения, являющиеся исходными данными для решения задачи 1, приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Варианты работ по модернизации ТЭЦ

Наименование работ и вариантов их выполнения	Обозначение вариантов выполнения работ	Стоимость выполнения вариантов работ, млн. руб.	Годовая экономия, млн. руб. год
1. Система циркуляционного охлаждения конденсаторов турбин			
1.1. Устранение паразитных перетечек в отводах трубопровода циркуляционной воды	X <sub>111</sub>	0,5	1,6
1.2. Уменьшение номинальной подачи центробежных насосов:			
1.2.1. Обточка рабочих колес	X <sub>121</sub>	1,0	2,5
1.2.2. Установка регулятора частоты вращения	X <sub>122</sub>	4,0	3,3
2. Установка химводоподготовки			
2.1. Строительство станции очистки и возврата конденсата	X <sub>211</sub>	3,0	0,7
2.2. Применение новых методов коррекционной обработки питательной и котловой воды:			
2.2.1. Применение реагента П-2	X <sub>221</sub>	4,0	1,4
2.2.2. Применение реагента «Хеламин»	X <sub>222</sub>	5,0	1,6
2.3. Внедрение новых установок по обессоливанию воды:			
2.3.1. Термическое обессоливание	X <sub>231</sub>	11,0	3,8
2.3.2. Обессоливание на основе использования явления обратного осмоса	X <sub>232</sub>	15,0	4,3
3. Котлоагрегаты			
3.1. Установка распылительных головок механических форсунок по ОСТ 108.836.03.80	X <sub>31</sub>	5,0	4,2
3.2. Установка кислородомера с регулирующим комплексом типа АКГ	X <sub>32</sub>	6,0	3,6
3.3. Установка на мазутном хранилище теплообменников типа «труба в трубе»	X <sub>33</sub>	9,0	4,8
3.4. Внедрение газоимпульсной очистки внутренней поверхности топки	X <sub>34</sub>	16	8,8

На основе данных, приведенных в табл. 2, по описанной выше методике были построены функции отклика для каждого вида оборудования. Эти функции представлены графически на рис. 2, а, б, в.

Функция отклика ТЭЦ в целом на вложение средств в модернизацию ее оборудования представлена графически на рис. 2, г.

Знание полученных функций отклика позволяет решить задачу оптимального использования средств, выделяемых на модернизацию ТЭЦ. Для этого необходимо выполнить так называемый «обратный ход» алгоритма динамического программирования [5,7], который выполняется следующим образом. По заданному количеству средств  $C$  определяем макси-

мальный годовой эффект, который можно получить при оптимальном распределении этих средств по видам оборудования.

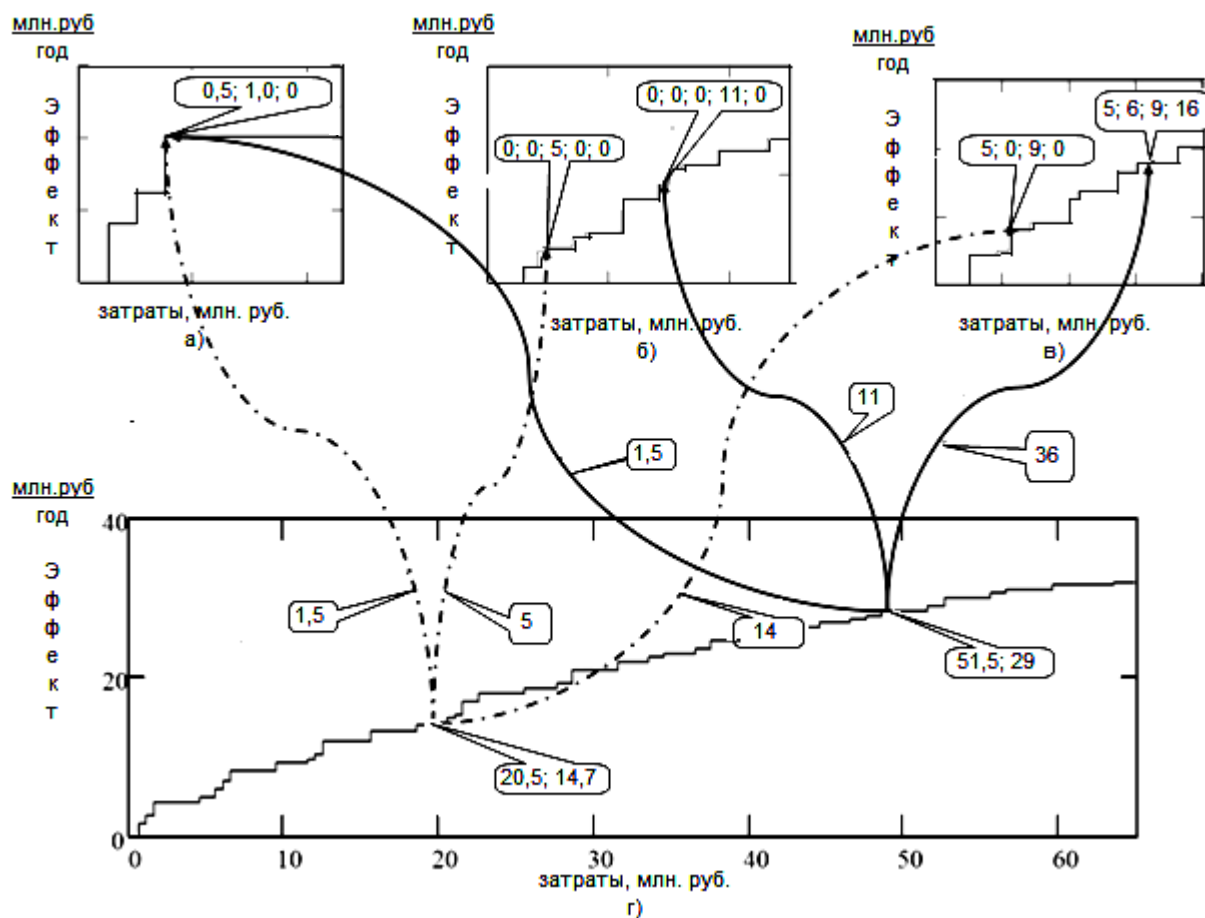


Рис. 2. Функции отклика показателя эффективности ТЭЦ на модернизацию:

а – системы циркуляционного охлаждения конденсаторов турбин; б – оборудования химводоподготовки; в – котлоагрегатов; г – совокупности рассматриваемого оборудования

Предположим, что на модернизацию ТЭЦ может быть выделено 51,5 млн. руб. Тогда, следуя изложенному алгоритму, получим, что, выполнив на эту сумму работы по модернизации ТЭЦ, можно обеспечить ежегодную экономию в размере 29 млн. руб., если эти средства будут распределены следующим образом: на модернизацию котлоагрегатов – 36 млн. руб., на оборудование химводоподготовки – 11 млн. руб. и на систему охлаждения конденсаторов турбин – 1,5 млн. руб. При этом должны быть выполнены следующие мероприятия:

- весь предусмотренный комплекс работ на котлоагрегатах;
- работы по монтажу установок по термическому обессоливанию воды на оборудовании химводоподготовки;
- работы по устранению паразитных перетечек и установке регуляторов частоты вращения центробежных насосов на системе охлаждения конденсаторов турбин.

В случае, когда на модернизацию ТЭЦ будет выделяться 20,5 млн. руб., максимально возможная годовая экономия (14,7 млн. руб.) может быть получена при выполнении следующего комплекса работ по модернизации:

- работы по установке на котлоагрегатах более совершенных распылительных головок механических форсунок и теплообменников типа «труба в трубе» в мазутном хранилище общей стоимостью 14 млн. руб.;

- работы по внедрению реагента «Хеламин» стоимостью 5 млн. руб. на оборудовании химводоподготовки;
- работы по устранению паразитных перетечек и установке регуляторов частоты вращения центробежных насосов на системе охлаждения конденсаторов турбин на системе охлаждения конденсаторов турбин общей стоимостью 1,5 млн. руб.

Рис. 2 иллюстрирует рассмотренные примеры. Он также наглядно показывает, как изменяется чувствительность рассматриваемого показателя экономической эффективности к объему финансирования работ по модернизации. В данном случае с ростом объема финансирования она уменьшается. Так, вложение первых 20 млн. руб. обеспечивает годовую экономию в размере 14 млн. руб., вторых – в размере 10 млн. руб., а третьих – только 6 млн. руб.

На основе знания функций отклика можно решать не только задачи оптимального распределения единовременно выделяемых средств, но и задачи распределения средств по годам таким образом, чтобы суммарный эффект за заданный период эксплуатации оборудования был бы максимальным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение изложенной методики позволяет получить богатый материал для обоснования и принятия решения о режиме финансирования тех или иных работ, направленных на улучшение показателей качества функционирования различных объектов НКИ. При этом следует заметить, что она может быть применена не только для решения задач оптимизации финансирования работ по модернизации. Важной областью ее применения является анализ чувствительности показателей технического состояния объектов НКИ (в частности, показателей надежности) к объему финансирования работ по их совершенствованию и поддержанию готовности к применению. Кроме того, предложенная методика, благодаря использованию метода динамического программирования, обладает следующими полезными особенностями:

- возможностью получения спектра решений, что позволяет обосновать размер потребных инвестиций для модернизации отрасли промышленности и оптимально распределить выделенные средства между ее участниками;
- гарантированным нахождением абсолютного, а не локального экстремума, если задача многоэкстремальна. Кроме того, метод позволяет найти все множество решений задачи, при которых имеет место один и тот же экстремум. Наличие таких вариантов позволяет привлечь к рассмотрению дополнительные показатели качества модернизации;
- возможностью распараллеливания вычислений, что может оказаться чрезвычайно полезным при решении крупномасштабных задач.

## Список используемых источников

1. Метод планирования инновационной деятельности / Гейда А.С., Лысенко И.В., Птушкин А.И., Седлов Е.В. // Программные продукты и системы. – 2011. – № 4 (96). – С. 134–136.
2. Милославский И.Г. Новизна с последствиями // Наука. Известия. URL: <http://www.inauka.ru/education/article92760.html>
3. Бочков А.П., Гасюк Д.П., Филюстин А.Е. Модели и методы управления развитием технических систем. – СПб.: Союз. 2003. – 288 с.
4. Перминов А.Н., Птушкин А.И. Исследование влияния мониторинга технического состояния объектов наземной космической инфраструктуры на эффективность их функционирования // Вестник МАИ. – 2005. – Т. 12., № 3. – С. 74–80.

5. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования / пер. с англ.; под ред. А.А. Первозванского. – М.: Наука. 1965. – 460 с.

6. Лысенко И.В., Птушкин А.И. Информационно-аналитическое обеспечение обоснования объема инвестиций в модернизацию сложных технических комплексов // Труды «Региональная информатика – 2010», Санкт-Петербург, 20–22 октября 2010. – СПб.: СПИИРАН. 2011. – С. 201–206.

7. Перминов А.Н., Пеньков М.М., Птушкин А.И. Оценивание экономической эффективности модернизации тепловых электростанций // Вестник международной академии холода. – 2006. – № 1. – С. 30–37.

П.П. Рымкевич,  
кандидат физико-математических наук;  
А.В. Коцкович

## НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ТЕПЛОПЕРЕНОС ЧЕРЕЗ КОНСТРУКЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Для корректного расчета нестационарной теплопроводности через корпус КА предложена многоканальная теория тепла. Показано, что последовательный учет многократного рассеивания тепловой энергии приводит к гиперболическому уравнению теплопроводности.

Ключевые слова: теплопроводность, многоканальность, нестационарность.

В сложных условиях эксплуатации различные элементы КА подвергаются переменным температурным и влажностным воздействиям. Распределение температур по толщине конструкции – одна из основных задач тепломассопереноса. Корректное решение изучаемой проблемы позволяет прогнозировать распределение температур внутри КА и тем самым упрощает управление различными элементами космических систем и их эксплуатацию.

Классические методы теории теплопроводности широко известны [1–4], тем не менее при решении некоторых задач нестационарной теплопроводности и тепловой устойчивости возникают проблемы, связанные с существенным отличием теории от экспериментально наблюдаемых результатов. Возникает ряд вопросов при расчете многослойных материалов, широко используемых в последнее время с различными теплопроводными включениями. Одна из проблем – это корректное задание граничных условий на границе раздела сред. Однако это не единственная проблема. Классическое уравнение теплопроводности в некоторых случаях «перестает» точно описывать теплоперенос. «Исправлению» уравнения теплопроводности посвящено много работ. Первым, кто предложил использовать уравнение Фурье с демпфером (чтобы избежать парадокса с бесконечной скоростью тепла, присущего всем уравнениям параболического типа), был Дж. Максвелл [5]. Позднее В.А. Фок [6] впервые рассмотрел гиперболическое уравнение для передачи энергии. Затем Каттанео [7] подробно изучил данный вопрос. Для быстро протекающих тепловых процессов (типа тепловых ударов) вариант волновой теории предложен Г.А. Гениевым [8]. Учет запаздывания приводит к уравнению вида:

$$\tau_p \frac{\partial \vec{q}}{\partial t} + \vec{q} = -\lambda \vec{\nabla} \vec{T} ; \quad (1)$$

$$\tau_p \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}[a_T \text{grad} T], \quad (2)$$

где  $T(x, y, z, t)$  – искомое поле температур;

$\vec{q}$  – плотность теплового потока;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности;

$a_T$  – коэффициент диффузии тепла (коэффициент температуропроводности),

$a_T = \frac{\lambda}{c_V \rho}$  ( $c_V$ ,  $\rho$  – соответственно удельная теплоемкость и плотность материала);

$\tau_p$  – время релаксации.

Уравнение типа (2) присуще большинству явлений переноса, в том числе в электродинамике и акустике. Тем не менее теоретические оценки показывают, что время релаксации  $\tau_p$

для большинства твердых тел весьма невелико, хотя эмпирически введенное  $\tau_p$  «исправляет» нестационарные тепловые поля.

В данной статье будут рассмотрены те физические принципы, которые и объясняют наблюдаемые расхождения расчетных и экспериментальных значений тепловых потоков и температур в различных элементах КА.

Прежде всего следует отметить, что большинство материалов, из которых состоят исследуемые конструкции, имеют гетерогенное строение. Однако даже для однородной гомогенной среды имеется не один механизм передачи тепла. Переносимую часть внутренней энергии можно трактовать как неравновесный фононный газ, диффундирующий в общем случае по разным механизмам (в твердых телах имеются не менее двух мод колебаний – продольные и поперечные волны).

Авторами предложен новый метод решения задач нестационарной теплопроводности, основанной на вероятностных методах общей теории переноса [9–12]. В данной статье будет рассмотрен лишь простейший перенос тепла через плоскую конструкцию.

Процесс передачи тепла с позиции современной физики можно рассматривать как диффузию аддитивного скалярного свойства – тепловой энергии, имеющего внутреннюю структуру.

Пусть теплоперенос осуществляется вдоль некоторой оси  $OX$  (плоская задача). Так как тепловая энергия распространяется как по, так и против оси  $OX$ , то в качестве локальной характеристики целесообразно ввести соответствующие плотности токов тепла  $q_{\rightarrow n}(x, t)$  и  $q_{\leftarrow n}(x, t)$ , распространяющихся по  $N$  каналам распространения (всего  $2N$ -величин).

Примем, что тепловая энергия распространяется по  $N$  различным механизмам, которые будем называть каналами распространения тепла. Количество тепловой энергии на каждом канале и определяет структуру теплового потока. С общих позиций теории переноса [9] распространение данного аддитивного свойства определяется не только самим свойством, но и свойствами одномерного пространства, как в данном случае, которое будем называть средой. Характеристики среды могут определяться как распределением других свойств (например, влагопереносом, механическими нагрузками и т. д.), так и распределением самого изучаемого свойства в общем случае нелинейно. В качестве одной из локальных характеристик среды можно ввести скорость распространения тепла на каждом канале  $c_n$ .

Переносимая часть внутренней энергии  $U(x, t)$  равна сумме энергий на каждом канале (внутренних резервуаров энергии):

$$U(x, t) = \sum_{n=1}^N \frac{1}{c_n} \left[ q_{\rightarrow n}(x, t) + q_{\leftarrow n}(x, t) \right] = \sum_{n=1}^N \left[ U_{\rightarrow n}(x, t) + U_{\leftarrow n}(x, t) \right]. \quad (3)$$

Для квазиоднородной среды можно принять

$$U(x, t) = c_v \rho T(x, t). \quad (4)$$

Следует отметить, что  $T(x, t)$  – некоторая усредненная температура по физически малому объему. Так как передача теплоты – процесс необратимый и неравновесный, то более точно нужно говорить о локальной температуре на каждом канале (принцип локального равновесия). Поэтому при нестационарном теплопереносе имеют место два физических процесса: первый – передача энергии от более нагретого тела к менее нагретому, второй – обмен энергией между различными каналами распространения, т. е. осуществляются процессы релаксации. Это можно наблюдать при прохождении световой энергии через стеклянные ограждения. Часть электромагнитной энергии (за исключением окна прозрачности, т. е. диапазона пропускаемых длин волн) поглощается по известному экспоненциальному закону Бугера, т. е. переходит на другие каналы распространения тепла.

Плотность теплового потока  $q(x, t)$  определяется выражением

$$q(x, t) = \sum_{n=1}^N q_n(x, t) = \sum_{n=1}^N \left[ q_{\rightarrow n}(x, t) - q_{\leftarrow n}(x, t) \right]. \quad (5)$$

Для вывода уравнений теплопереноса в общем случае достаточно написать  $2N$  уравнений непрерывности для линейной плотности энергии на каждом канале в соответствии с законом сохранения энергии. Имеем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_{\rightarrow n}(x, t)}{\partial t} &= -\frac{\partial}{\partial x} \left[ U_{\rightarrow n}(x, t) c_n \right] - \sum_{k=1}^N \left[ \tilde{a}_{\rightarrow nk} + \tilde{b}_{\rightarrow nk} \right] U_{\rightarrow n}(x, t) + \sum_{k=1}^N \tilde{a}_{\leftarrow kn} U_{\leftarrow k}(x, t) + \sum_{k=1}^N \tilde{b}_{\leftarrow kn} U_{\rightarrow k}(x, t); \\ \frac{\partial U_{\leftarrow n}(x, t)}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[ U_{\leftarrow n}(x, t) c_n \right] - \sum_{k=1}^N \left[ \tilde{a}_{\leftarrow nk} + \tilde{b}_{\leftarrow nk} \right] U_{\leftarrow n}(x, t) + \sum_{k=1}^N \tilde{a}_{\rightarrow kn} U_{\rightarrow k}(x, t) + \sum_{k=1}^N \tilde{b}_{\rightarrow kn} U_{\leftarrow k}(x, t), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\tilde{a}_{\rightarrow nk}(x, t)$  – константа скорости отражения, т. е. доля тепловой энергии в единицу времени,

перешедшей с канала номер  $n$  на канал номер  $k$  с изменением направления распространения,  $\tilde{a}_{\rightarrow nk}(x, t) = \frac{\tilde{a}_{nk}}{c_n}$  (такое выражение будем называть матричным элементом показателей рассеяния потока тепла);

$\tilde{b}_{\rightarrow nk}(x, t)$  – матрица констант скорости перехода с канала номер  $n$  на канал номер  $k$ , т. е.

доля тепловой энергии в единицу времени ( $\tilde{q}_{\rightarrow nm} \equiv 0$ ), перешедшей с канала

номер  $n$  на канал номер  $k$  без изменения направления движения.

Уравнения системы выражают закон сохранения переноса энергии с учетом внутреннего обмена между каналами. Под каналом распространения можно понимать и однородную часть гетерогенной системы. В отсутствии асимметрии, т. е. без наличия внешних полей, потоков величин одной природы и т. д.  $\tilde{a}_{\rightarrow nk} = \tilde{a}_{\leftarrow nk} = \tilde{a}_{nk}$ ,  $\tilde{b}_{\rightarrow nk} = \tilde{b}_{\leftarrow nk} = \tilde{b}_{nk}$ .

Ограничимся рассмотрением случая квазиоднородной среды, свойства которой не меняются со временем (например, старение). Такая среда будет описываться следующими константами:  $\tilde{a}_{nk}$  –  $N^2$ -величин,  $\tilde{b}_{nk}$  –  $N(N-1)$ -величин и  $c_n$  –  $N$ -величин, т. е. всего  $2N^2$  характеристик материала. В реальности их значительно меньше из-за наличия уравнений равновесия. Перепишем систему (6) несколько в ином виде, складывая и вычитая почленно уравнения системы, введя матричные элементы:

$$\begin{aligned} \theta_{kn} &= \frac{1}{c_n} \sum_{m=1}^N \left[ \tilde{a}_{km} + \tilde{b}_{km} \right] \delta_{kn} + \frac{1}{c_k} \left[ \tilde{a}_{kn} - \tilde{b}_{kn} \right]; \\ G_{kn} &= \sum_{m=1}^{\infty} \left[ \tilde{a}_{km} + \tilde{b}_{km} \right] \delta_{kn} - \left[ \tilde{a}_{kn} + \tilde{b}_{kn} \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

В этом случае система (6) перепишется так:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_n}{\partial t} + \frac{\partial q_n}{\partial x} + \sum_{k=1}^N U_k G_{kn} &= 0; \\ \frac{1}{c_n} \frac{\partial q_n}{\partial t} + c_n \frac{\partial U_n}{\partial x} + \sum_{k=1}^N q_k \theta_{kn} &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Первые  $N$  уравнений суть уравнения непрерывности с внутренними переходами энергии с канала на канал. Вторые  $N$  уравнений выражают обобщенный закон Фурье. Из системы уравнений (8) для  $N=1$  следуют гиперболические уравнения теплопроводности (1) и (2).

Если толщина слоя среды достаточно велика, то в стационарном случае (установившийся режим) выполняется закон Фурье, т. е.

$$\sum_{k=1}^N U_k^p G_{kn} = 0; \quad (9)$$

$$c_n \frac{\partial U_k^p}{\partial x} + \sum_{k=1}^N q_k^p \theta_{kn} = 0.$$

Индекс  $p$  означает, что между каналами установилось равновесие и действует принцип локального равновесия, т. е. система имеет локальную температуру  $T(x)$  и другие локальные характеристики. Пусть  $\omega_k^p$  – доля тепловой энергии, распространяющейся по каналу номер  $n$

( $\sum_{n=1}^N \omega_k^p = 1$ ), тогда система

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^N \omega_k^p G_{kn} = 0; \\ \sum_{n=1}^N \omega_k^p = 1 \end{cases} \quad (10)$$

однозначно определяет величину  $\omega_k^p$ .

Кроме того, для такого стационарного квазиравновесия можно применить принцип детального равновесия – количество энергии, переходящее с канала номер  $k$  на канал номер  $n$ , равно количеству энергии, переходящему с канала номер  $n$  на канал номер  $k$ . Таким образом:

$$\begin{aligned} \omega_k^p \tilde{a}_{kn} &= \omega_n^p \tilde{a}_{nk}; \\ \omega_k^p \tilde{b}_{kn} &= \omega_n^p \tilde{b}_{nk}, \end{aligned} \quad (11)$$

что существенно снижает число линейно независимых характеристик среды. В частности, для стационарного случая имеет место следующее равенство:

$$\frac{1}{a_T} c_n \omega_n^p - \omega_k^p \theta_{kn} = 0, \quad (12)$$

дополнительные  $N$ -уравнений связи.

Общий анализ системы уравнений (8) позволяет сделать выводы.

1. В нестационарном решении теплообмен, потоки тепла и поле температур могут существенно отличаться от расчетных с одним стационарным коэффициентом теплопроводности.

2. Для тонких слоев материала возможен так называемый «масштабный эффект», выражающийся в зависимости интегрального стационарного коэффициента теплопроводности от толщины образца.

3. Характер решения системы зависит от структуры падающего потока тепла, т. е. требуется более корректное задание граничных условий.

4. Целесообразно для основных материалов, используемых в КА, экспериментально исследовать их тепловые характеристики в динамическом режиме теплопереноса.

### Список используемых источников

1. Ковалев В.А., Радаев Ю.Н. Волновые задачи теории поля и термомеханика. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 2010. – 328 с.

2. *Лыков А.В., Михайлов Ю.А.* Теория тепло- и массопереноса. – М: Гос. энерг. изд-во, 1963. – 535 с.
3. *Joseph D.D., Preziosi L.* Heat waves // *Rev Modern Physics*, 1989. – V. 61. – № 1. – P. 41–73.
4. *De Groot S.R.* Thermodynamics of irreversible Processes-Amsterdam, 1952.
5. *Maxwell J.C.* Philoc. Trans. Rog. Soc. London 157(1867) 49.
6. *Фок В.А.* Решение одной задачи теории диффузии по методу конечных разностей и применение его к диффузии света // *Труды ГОИ.* – 1926. – Т. 4. – Вып. 34.
7. *Cattaneo C/ Atti Seminario Univ. Modena* 3 (1948) 33.
8. *Гениев Г.А.* Вариант волновой теории теплопроводности твердых тел // *Исследование по теории сооружений: сб. статей.* – М.: Стройиздат, 1980. – Вып. 24.
9. *Рымкевич П.П.* Введение в теорию распространения свойств // *Труды 27-й Летней международной школы «Анализ и синтез нелинейной механики колебательных систем».* – СПб., 2000. – С. 455–496.
10. *Кориунов В.С., Рымкевич П.П.* Феноменологические законы диффузии в твердых телах // *Изв. вузов. Физика.* – 1979. – № 4. – С. 31–36.
11. *Кориунов В.С., Матвеев В.Н., Рымкевич П.П.* Трехмерная задача диффузии в однородной среде // *Дифференциальные уравнения в частных производных: сб. тр.* – Л., 1980. – С. 37–39.
12. *Горшков А.С., Рымкевич П.П.* Диаграммный метод решения задач нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции // *Строительная теплотехника: актуальные вопросы нормирования: тр. Всероссийской научно-технической конф.* – СПб.: СПбЗН-НИ и ПИ, 2008. – С. 184–198.

Д.В. Садин,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
Н.С. Самойлов,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
В.М. Варварский

## СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ НЕКОТОРЫХ TVD-СХЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ ВОЛНОВОГО ИСТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОЙ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ

Выполнено сравнение точности некоторых TVD-схем для сквозного расчета задач волнового истечения двухфазной дисперсной среды с различием скоростей, температур и общим давлением фаз. В качестве тестовой рассмотрена задача о распаде произвольного разрыва в системе двухфазная среда – газ. Предложена форма искусственной вязкости, зависящая от интенсивности ударной волны и обеспечивающая хорошее приближение ударно-волновых и контактных разрывов.

Ключевые слова: двухфазная среда, волновая динамика, разностная TVD-схема, сравнение точности.

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема численного моделирования волнового истечения двухфазной среды представляет значительный интерес при эксплуатации космической техники в орбитальном полете в связи с вопросами загрязнения околоземного пространства дисперсными образованиями различного происхождения, а также возможного их воздействия на космические аппараты и пилотируемые станции. Экспериментальные исследования этих вопросов в космосе или в земных условиях в барокамере ограничены из-за ряда соображений экономического характера, технологической реализации и безопасности. Поэтому совершенствование технологии численного эксперимента, направленного на повышение точности разностных схем и достоверности результатов для задач волновой динамики гетерогенных сред представляется актуальным.

Для получения квазимонотонных численных решений сквозного счета высокого разрешения контактных, комбинированных и ударных разрывов целесообразно применение TVD разностных схем, уменьшающих общую вариацию. В работах Хартена, Роя, Чакравати, Ошера и других авторов предложены TVD-схемы для гиперболических уравнений газовой динамики.

При математическом описании волновой динамики двухфазных течений широко применяются уравнения движения компонентов с различными скоростями, температурами и общим давлением фаз в рамках взаимопроникающих континуумов [1]. Особенности численного моделирования волновой неравновесной динамики гетерогенных сред с общим давлением фаз являются, во-первых, негиперболичность уравнений движения [1], а во-вторых, жесткость задач волнового истечения двухфазной смеси, обусловленная существенным различием характерных времен релаксаций фаз [2, 3]. TVD-схемы, применимые для уравнений движения негиперболического типа, предложены применительно к задачам геофизической гидродинамики [4, 5]. Проблема жесткости для задач движения двухскоростных, двух- и трехтемпературных сред рассмотрена в работах [2, 3, 6–8], где предложены разностные схемы первого порядка аппроксимации, позволяющие повысить запас устойчивости (допустимое число Куранта) на порядок и более.

Целью настоящей работы является сравнение точности некоторых TVD-схем для задач волнового истечения двухфазной дисперсной среды с различием скоростей, температур и общим давлением фаз.

## ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Для описания динамики в газовой и дисперсной фазах используем эйлеров подход, при котором система уравнений в рамках континуального описания и известных допущений имеет вид [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho_i v_i}{\partial x} &= 0; \quad \frac{\partial \rho_1 v_1}{\partial t} + \frac{\partial \rho_1 v_1^2}{\partial x} + \beta_1 \frac{\partial p}{\partial x} = -\beta_3 F_\mu; \quad \frac{\partial \rho_2 v_2}{\partial t} + \frac{\partial \rho_2 v_2^2}{\partial x} + (1 - \beta_1) \frac{\partial p}{\partial x} = \beta_3 F_\mu; \\ \frac{\partial (\rho_1 E_1 + \rho_2 K_2)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_1 E_1 v_1 + \rho_2 K_2 v_2)}{\partial x} + \frac{\partial p(\alpha_1 v_1 + \alpha_2 v_2)}{\partial x} &= -Q; \quad \frac{\partial \rho_2 e_2}{\partial t} + \frac{\partial \rho_2 e_2 v_2}{\partial x} = Q; \quad (1) \\ \rho_i &= \rho_i^\circ \alpha_i \quad (i = 1, 2), \quad E_1 = e_1 + v_1^2 / 2, \quad K_2 = v_2^2 / 2; \end{aligned}$$

$$\beta_1 = \frac{\alpha_1(2 + \chi_m \rho_1^\circ / \rho_2^\circ)}{2 + \chi_m(\alpha_2 + \alpha_1 \rho_1^\circ / \rho_2^\circ)}; \quad \beta_2 = \frac{2 + \chi_m \alpha_2}{2 + \chi_m(\alpha_2 + \alpha_1 \rho_1^\circ / \rho_2^\circ)}; \quad \beta_3 = \frac{2}{2 + \chi_m(\alpha_2 + \alpha_1 \rho_1^\circ / \rho_2^\circ)}.$$

Здесь и далее индексы 1 и 2 внизу относятся соответственно к параметрам несущей и дисперсной фаз, индекс  $\circ$  сверху относится к истинным значениям плотности. В системе уравнений обозначены:  $\alpha_i$  – объемная доля;  $\rho_i$  – приведенная плотность;  $v_i$  – вектор скорости;  $E_i, e_i$  – полная и внутренняя энергии единицы массы  $i$ -й фазы;  $p$  – давление газа;  $F_\mu$  – вязкая составляющая силы межфазного взаимодействия;  $Q$  – мощность теплообмена между газом и частицами;  $\chi_m$  – коэффициент, учитывающий неоднородность и несферичность частиц, воздействующих на силу присоединенных масс ( $\chi_m = 1$  для сферических частиц);  $t$  – время.

**Замыкающие соотношения.** Для замыкания системы (1) используем уравнения состояния идеального калорически совершенного газа и несжимаемых твердых частиц:

$$p = (\gamma_1 - 1) \rho_1^\circ e_1; \quad e_1 = c_{v1} T_1; \quad e_2 = c_2 T_2, \quad \{\gamma_1, c_{v1}, c_2, \rho_2^\circ\} \equiv \text{const}.$$

Здесь  $T_1, T_2$  – температуры несущей фазы и частиц;

$\gamma_1, c_{v1}$  – показатель адиабаты и удельная теплоемкость газа при постоянном объеме;

$c_2$  – удельная теплоемкость частиц.

Интенсивности межфазного трения и теплообмена  $F_\mu, Q$  задаются на основе известных и апробированных для рассматриваемого класса задач эмпирических критериальных соотношений [1, 9, 10].

**Начальные и граничные условия.** Область определения задачи:  $-L \leq x < +\infty$ ;  $0 \leq t \leq T$ . Начальные условия при  $t = 0$ : при  $-L \leq x \leq 0$  – заданные термо-газодинамические параметры фаз с равномерным распределением; в остальной части – невозмущенная окружающая среда (газ). Краевые условия задачи задавались следующим образом: на стенке при  $x = -L$  – условия непротекания, на бесконечности – невозмущенная окружающая среда.

## TVD-СХЕМЫ

Покроем область определения задачи равномерной эйлеровой сеткой, содержащей  $N$  ячеек, с пространственным шагом  $h$  и введем временные слои  $t^k$  с неравномерным шагом  $\tau$ . После дискретизации термо-газодинамические величины  $i$ -й фазы, входящие в уравнения (1), можно представить в виде  $\Phi_i(x, t) \rightarrow \Phi_i(x_n, t^k) \equiv \Phi_{i,n}^k$ , где  $n$  – пространственный индекс;  $k$  – индекс временного слоя.

Рассмотрим многопараметрическое семейство разностных схем с расщеплением на два этапа. На первом из них (индекс временного слоя  $k + 1/2$ ) отбрасываются конвективные члены. Величины, связанные с интенсивностями межфазных взаимодействий, линеаризуем в

точке  $(x_n, t^k)$ :

$$\begin{aligned}
 \rho_{1,n}^k \frac{v_{1,n}^{k+1/2} - v_{1,n}^k}{\tau} + \beta_1^k \frac{\tilde{p}_{n+1/2}^k - \tilde{p}_{n-1/2}^k}{h} &= -b_v^k (v_1 v_{1,n}^{k+1/2} + (1-v_1) v_{1,n}^k - v_2 v_{2,n}^{k+1/2} - (1-v_2) v_{2,n}^k); \\
 \rho_{2,n}^k \frac{v_{2,n}^{k+1/2} - v_{2,n}^k}{\tau} + (1-\beta_1^k) \frac{\tilde{p}_{n+1/2}^k - \tilde{p}_{n-1/2}^k}{h} &= b_v^k (v_1 v_{1,n}^{k+1/2} + (1-v_1) v_{1,n}^k - v_2 v_{2,n}^{k+1/2} - (1-v_2) v_{2,n}^k); \\
 \rho_{1,n}^k \frac{E_{1,n}^{k+1/2} - E_{1,n}^k}{\tau} + \rho_{2,n}^k \frac{(v_{2,n}^{k+1/2})^2 - (v_{2,n}^k)^2}{2\tau} + \frac{\tilde{p}_{n+1/2}^k (\alpha_1^k v_1^k)_{n+1/2} - \tilde{p}_{n-1/2}^k (\alpha_1^k v_1^k)_{n-1/2}}{h} &= \\
 = -b_T^k \left( \varepsilon_1 \left( E_{1,n}^{k+1/2} - (v_{1,n}^{k+1/2})^2 / 2 \right) / c_v + (1-\varepsilon_1) \left( E_{1,n}^k - (v_{1,n}^k)^2 / 2 \right) / c_v - \right. & \\
 \left. - \varepsilon_2 \epsilon_{2,n}^{k+1/2} / c_2 - (1-\varepsilon_2) \epsilon_{2,n}^k / c_2 \right); & \\
 \rho_{2,n}^k \frac{\epsilon_{2,n}^{k+1/2} - \epsilon_{2,n}^k}{\tau} &= b_T^k \left( \varepsilon_1 \left( E_{1,n}^{k+1/2} - (v_{1,n}^{k+1/2})^2 / 2 \right) / c_v + \left( (1-\varepsilon_1) \left( E_{1,n}^k - (v_{1,n}^k)^2 / 2 \right) \right) / c_v - \right. \\
 \left. - \varepsilon_2 \epsilon_{2,n}^{k+1/2} / c_2 - (1-\varepsilon_2) \epsilon_{2,n}^k / c_2 \right); & \\
 \tilde{p}_{n\pm 1/2}^k &= p_{n\pm 1/2}^k + q.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Здесь  $v_1, v_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2$  – параметры схемы;

$b_v^k, b_T^k$  – коэффициенты линеаризации;

$q$  – искусственная вязкость, конкретная форма которой будут приведена ниже.

Представим выражения (2) в матричном виде:

$$A_v \cdot U_v = B_v, \quad A_e \cdot U_e = B_e; \tag{3}$$

где

$$\begin{aligned}
 U_v &= \begin{pmatrix} v_{1,n}^{k+1/2} \\ v_{2,n}^{k+1/2} \end{pmatrix}, \quad A_v = \begin{pmatrix} (1 + v_1 b_v^k \tau / \rho_{1,n}^k), & -v_2 b_v^k \tau / \rho_{1,n}^k \\ -v_1 b_v^k \tau / \rho_{2,n}^k, & (1 + v_2 b_v^k \tau / \rho_{2,n}^k) \end{pmatrix}; \\
 B_v &= \begin{pmatrix} v_{1,n}^k + \left[ -\beta_1^k \frac{p_{n+1/2}^k - p_{n-1/2}^k}{h} - b_v^k ((1-v_1) v_{1,n}^k - (1-v_2) v_{2,n}^k) \right] \tau / \rho_{1,n}^k \\ v_{2,n}^k + \left[ -(1-\beta_1^k) \frac{p_{n+1/2}^k - p_{n-1/2}^k}{h} + b_v^k ((1-v_1) v_{1,n}^k - (1-v_2) v_{2,n}^k) \right] \tau / \rho_{2,n}^k \end{pmatrix}; \\
 U_e &= \begin{pmatrix} E_{1,n}^{k+1/2} \\ \epsilon_{2,n}^{k+1/2} \end{pmatrix}, \quad A_e = \begin{pmatrix} (1 + \varepsilon_1 b_T^k \tau / \rho_{1,n}^k / c_v), & -\varepsilon_2 b_T^k \tau / \rho_{1,n}^k / c_2 \\ -\varepsilon_1 b_T^k \tau / \rho_{2,n}^k / c_v, & (1 + \varepsilon_2 b_T^k \tau / \rho_{2,n}^k / c_2) \end{pmatrix}; \\
 B_e &= \begin{pmatrix} B_{e1} \\ B_{e2} \end{pmatrix};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_{e1} &= E_{1,n}^k + \left( -\rho_{2,n}^k \left( (v_{2,n}^{k+1/2})^2 - (v_{2,n}^k)^2 \right) / 2\tau - \left( \tilde{p}_{n+1/2}^k (\alpha_1^k v_1^k)_{n+1/2} - \tilde{p}_{n-1/2}^k (\alpha_1^k v_1^k)_{n-1/2} \right) - \right. \\
 &\quad \left. - b_T^k \left( \left( -\varepsilon_1 (v_{1,n}^{k+1/2})^2 / 2 + (1-\varepsilon_1) (E_{1,n}^k - (v_{1,n}^k)^2 / 2) \right) / c_v - (1-\varepsilon_2) \epsilon_{2,n}^k / c_2 \right) \right) \tau / \rho_{1,n}^k;
 \end{aligned}$$

$$B_{e2} = \epsilon_{2,n}^k + b_T^k \left( \left( -\varepsilon_1 (v_{1,n}^{k+1/2})^2 / 2 + (1-\varepsilon_1) (E_{1,n}^k - (v_{1,n}^k)^2 / 2) \right) / c_v - (1-\varepsilon_2) \epsilon_{2,n}^k / c_2 \right) \tau / \rho_{2,n}^k.$$

Искомые параметры на первом этапе находятся явно как решение систем линейных алгебраических уравнений (3) методом Гаусса.

На втором этапе конвективные члены системы уравнений (1) аппроксимируются противопоточными схемами с ограничителями [5]:

$$\rho_i^{k+1} = \rho_i^k + R_{i,n-1/2}^k v_{i,n-1/2}^{k+1/2} - R_{i,n+1/2}^k v_{i,n+1/2}^{k+1/2};$$

$$R_{i,n+1/2}^k = \begin{cases} R_{i,n+1/2}^+ & \text{при } v_{i,n+1/2}^{k+1/2} \geq 0, \\ R_{i,n+1/2}^- & \text{при } v_{i,n+1/2}^{k+1/2} < 0; \end{cases} \quad (4)$$

$$R_{i,n+1/2}^+ = \left[ \rho_{i,n}^k + \frac{1}{2} \psi(r_{i,n+1/2}^+) (1 - C_{i,n+1/2}) (\rho_{i,n+1}^k - \rho_{i,n}^k) \right] \frac{\tau}{h}; \quad (5)$$

$$R_{i,n+1/2}^- = \left[ \rho_{i,n+1}^k + \frac{1}{2} \psi(r_{i,n+1/2}^-) (1 + C_{i,n+1/2}) (\rho_{i,n+1}^k - \rho_{i,n}^k) \right] \frac{\tau}{h}; \quad (6)$$

$$C_{i,n+1/2} = v_{i,n+1/2}^{k+1/2} \frac{\tau}{h}; \quad r_{i,n+1/2}^+ = \frac{\rho_{i,n}^k - \rho_{i,n-1}^k}{\rho_{i,n+1}^k - \rho_{i,n}^k}; \quad r_{i,n+1/2}^- = \frac{\rho_{i,n+2}^k - \rho_{i,n+1}^k}{\rho_{i,n+1}^k - \rho_{i,n}^k}; \quad (7)$$

$$\psi(r) = \begin{cases} 0, & \text{Upwind} \\ 1, & \text{Lax-Wendroff} \\ \max[\min(2r, 1), \min(r, 2), 0], & \text{Superbee} \\ (r + |r|) / (1 + r), & \text{van Leer} \\ \min(r, 1), & \text{MINMOD} \\ \max\left[\min\left(2, 2r, \frac{1+r}{2}\right), 0\right], & \text{MUSCL} \end{cases}$$

$$\rho_{i,n}^{k+1} v_{i,n}^{k+1} = \rho_{i,n}^k v_{i,n}^{k+1/2} + R_{i,n-1/2}^k v_{i,n-1/2}^{k+1/2} - R_{i,n+1/2}^k v_{i,n+1/2}^{k+1/2};$$

$$\rho_{2,n}^{k+1} e_{2,n}^{k+1} = \rho_{2,n}^k e_{2,n}^{k+1/2} + R_{2,n-1/2}^k I_{2,n-1/2}^{k+1/2} - R_{2,n+1/2}^k I_{2,n+1/2}^{k+1/2};$$

$$\sum_{i=1}^2 \rho_i^{k+1} E_i^{k+1} = \sum_{i=1}^2 \rho_i^k E_i^{k+1/2} + \sum_{i=1}^2 (R_{i,n-1/2}^k J_{i,n-1/2}^{k+1/2} - R_{i,n+1/2}^k J_{i,n+1/2}^{k+1/2}).$$

Здесь  $v_{i,n+1/2}^{k+1/2}$ ,  $I_{2,n+1/2}^{k+1/2}$ ,  $J_{i,n+1/2}^{k+1/2}$  – величины, связанные с потоками количества движения и энергий фаз, вычисляются аналогично (4)–(7) с подстановкой в эти формулы вместо плотности соответственно скоростей, внутренней энергии дисперсных частиц и полных энергий фаз, полученных на первом этапе расчета.

Шаг по времени переменный и определяется из условия:

$$\tau = K \cdot \frac{h}{\max_i (|v_{1,n}^k| + a_{1,n}^k)}, \quad (8)$$

где  $K$  – число Куранта;

$a_{1,n}^k$  – скорость звука в несущем газе в точке  $(x_n, t^k)$ .

## ТЕСТОВОЕ АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ

В качестве тестовой рассмотрим задачу Римана о распаде произвольного разрыва в системе равновесная двухфазная среда – газ. Пусть имеется две бесконечные массы двухфазной среды и газа, граничащие в начальный момент времени  $t = 0$  вдоль плоскости  $x = 0$ , которые характеризуются постоянными параметрами:  $\rho_1^{(1)}$ ,  $v_1^{(1)}$ ,  $\rho^{(1)}$ ,  $E_1^{(1)}$  при  $x > 0$  и

$\alpha_i^{(5)}, \rho_i^{(5)}, v_i^{(5)}, p^{(5)}, E_1^{(5)}, e_2^{(5)}$  при  $x \leq 0$  ( $p^{(5)} > p^{(1)}$  и  $v_i = 0$ ). На  $x, t$  диаграмме (рис. 1) показана структура течения двухфазной среды в момент времени  $t > 0$ , включающая движения ударной волны 2, контактного разрыва 3 и волны разрежения 4 в двухфазной среде. Аналитическое решение строится путем сопряжения точного аналитического решения волны разрежения в равновесной среде 4 [11, 12] и соотношений на ударной волне в газе 2 [13]. На границах области 4 справедливо следующее соотношение:

$$\frac{p^{(5)}}{p^{(3)}} = \left( \frac{a^{(5)} \alpha_1^{(5)}}{a^{(3)} \alpha_1^{(3)}} \right)^{\frac{2\gamma}{\gamma-1}}. \quad (9)$$

Здесь  $a$  – скорость звука в двухфазной среде,  $a = \sqrt{\gamma p / [\rho(1 - C\rho)]}$ , где  $\rho$  – плотность смеси,  $\rho = \rho_1 + \rho_2$ ;  $C$  – функция, зависящая от начального распределения концентрации частиц, в частности является постоянной величиной при равномерном начальном распределении,  $C = x_2 / \rho_2^0$ , ( $x_i = \rho_i / \rho$ );  $\gamma$  – показатель, принимающий значение показателя адиабаты газа  $\gamma_1$  при отсутствии теплообмена между фазами и  $\gamma_2$  в случае температурного межфазного равновесия [1],  $\gamma_2 = (x_1 c_{v1} + x_2 c_2 + x_1 R_1) / x_1 c_{v1} + x_2 c_2$ ;  $R_1$  – газовая постоянная. Показатель адиабаты при температурном равновесии фаз зависит от концентрации фаз и давления. На рис. 2 показана зависимость  $\gamma_2$  от давления для различных объемных концентраций дисперсной фазы.

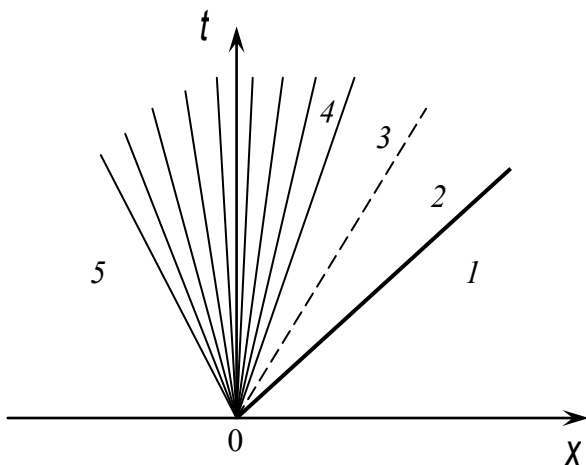


Рис. 1. Структура течения двухфазной среды

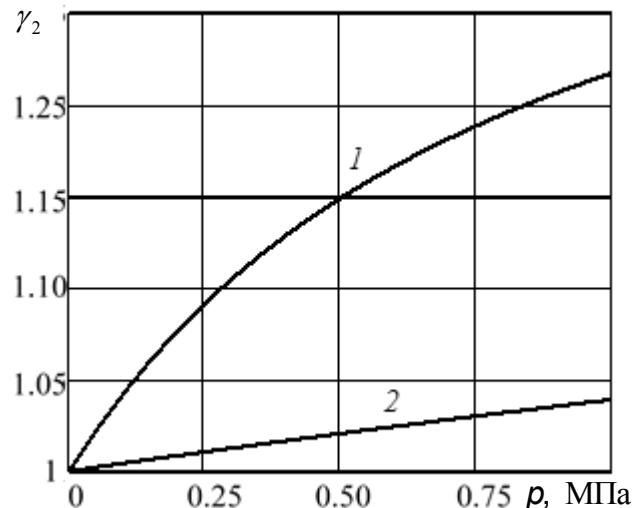


Рис. 2. Зависимость показателя адиабаты при температурной межфазной равновесности:

1 –  $\alpha_2 = 0,01$ ; 2 –  $\alpha_2 = 0,1$

В волне разрежения 4 (рис. 1), движущейся с абсолютной скоростью  $v - a$ , инварианты Римана сохраняют постоянное значение [12]:

$$\frac{2a^{(5)}\alpha_1^{(5)}}{\gamma-1} = \frac{2a^{(3)}\alpha_1^{(3)}}{\gamma-1} + v^{(3)}. \quad (10)$$

Замечая, что на поверхности контактного разрыва двухфазной среды и газа давление и скорость непрерывны, будем иметь

$$p^{(3)} = p^{(2)}; \quad v^{(3)} = v^{(2)} = V, \quad (11)$$

где  $V$  – скорость потока. Таким образом, вместо выражения (9) получим, используя (10):

$$\frac{p^{(5)}}{p^{(2)}} = \left( \frac{a^{(5)} \alpha_1^{(5)}}{a^{(5)} \alpha_1^{(5)} - \frac{\gamma-1}{2} V} \right)^{\frac{2\gamma}{\gamma-1}}. \quad (12)$$

Подставим известные из газовой динамики отношение давлений на ударной волне и формулу скорости спутного потока в равенство (12), получим:

$$\frac{p^{(5)}}{p^{(1)}} = \left( \frac{2\gamma_1}{\gamma_1+1} M_1^2 - \frac{\gamma_1-1}{\gamma_1+1} \right) \left[ 1 - \frac{\gamma-1}{\gamma_1+1} \left( M_1 - \frac{1}{M_1} \right) \frac{a_1^{(1)}}{a^{(5)} \alpha_1^{(5)}} \right]^{\frac{2\gamma}{\gamma-1}}, \quad (13)$$

где  $M_1$  – число Маха ударной волны,  $M_1 = D / a_1^{(1)}$ ;

$D$  – скорость ударной волны;

$a_1^{(1)}$  – скорость звука в газе перед волной.

Тестовое аналитическое решение строится следующим образом. Задается начальный перепад давлений  $p^{(5)} / p^{(1)}$ , по которому из соотношения (13) определяется число Маха ударной волны  $M_1$ . Параметры газа за ударной волной (область 2 на рис. 1) рассчитываются по формулам [13]:

$$\frac{p^{(2)}}{p^{(1)}} = \frac{2\gamma_1}{\gamma_1+1} M_1^2 - \frac{\gamma_1-1}{\gamma_1+1}; \quad \frac{\rho^{(2)}}{\rho^{(1)}} = \left( \frac{\gamma_1+1}{2} M_1^2 \right) / \left( 1 + \frac{\gamma_1-1}{2} M_1^2 \right);$$

$$\frac{v^{(2)}}{a_1^{(1)}} = \frac{2}{\gamma_1+1} \left( M_1 - \frac{1}{M_1} \right); \quad \frac{a_1^{(2)}}{a_1^{(1)}} = \sqrt{\frac{p^{(2)}}{p^{(1)}} \frac{\rho^{(1)}}{\rho^{(2)}}}.$$

Газодинамические величины двухфазной среды в области постоянного течения за контактным разрывом 3 и волны разрежения 4 как функции автомодельной координаты  $\xi$  определяются из решения системы нелинейных алгебраических уравнений [11], дополненных условием непрерывности давления и скорости в окрестности контактной поверхности (11):

$$\left[ \frac{(1 - \alpha_1^{(5)}) \alpha_1}{(1 - \alpha_1) \alpha_1^{(5)}} \right]^\omega = \frac{\alpha_1 + \omega}{\alpha_1 (1 - \omega \xi)}; \quad \frac{M}{\alpha_1^{(5)}} = \frac{2}{\gamma + 2\alpha_1 - 1} (\alpha_1 \xi + 1);$$

$$\frac{a \alpha_1}{a^{(5)} \alpha_1^{(5)}} = 1 - \frac{\omega}{\alpha_1^{(5)}} M; \quad \frac{\rho \alpha_1^{(5)}}{\rho^{(5)} \alpha_1} = \left( 1 - \frac{\omega}{\alpha_1^{(5)}} M \right)^{1/\omega}; \quad \frac{p}{p^{(5)}} = \left( 1 - \frac{\omega}{\alpha_1^{(5)}} M \right)^{\gamma/\omega};$$

$$\omega = \frac{\gamma-1}{2}; \quad \xi = \frac{x}{a^{(5)} \alpha_1^{(5)} t}; \quad \alpha_1 = 1 - C\rho, \quad M = \frac{v}{a^{(5)}}.$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ

Сравнение численных алгоритмов семейства разностных схем проводилось на тестовой задаче Римана о распаде произвольного разрыва в равновесной двухфазной среде, описанной выше. Физические свойства фаз следующие: газ – воздух с показателем адиабаты  $\gamma_1 = 7/5$ ; дисперсная фаза – сферические частицы радиусом  $r = 1$  мкм плотностью  $\rho_2^\circ = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Начальные условия при  $x \leq 0$ :  $\alpha_2^{(5)} = 0,01$ ;  $p^{(5)} = 1$  МПа;  $\rho_1^{(5)} = 11,89$  кг/м<sup>3</sup>;  $v_1^{(5)} = 0$ ; при  $x > 0$ :  $p^{(1)} = 1$  МПа;  $\rho_1^{(1)} = 1,189$  кг/м<sup>3</sup>;  $v_1^{(1)} = 0$ .

Шаг по пространству задавался постоянным  $h = 0,01$  м, а по времени  $\tau$  – переменным, вытекающим из условия (8). Интенсивности межфазных взаимодействий учитывались на верхнем временном слое  $v_1, v_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2 = 1$ . Искусственная вязкость (диффузия) использовалась на ударной волне следующим образом:

$$q(V, \Delta_{n+1/2} v_1) = \begin{cases} -b \sqrt{\gamma_1 p_{n+1/2}^k \rho_{1,n+1/2}^k} \cdot \Delta_{n+1/2} v_1, & \text{если } \Delta_{n+1/2} v_1 < 0 \text{ и } |v_{1,n+1/2}^k| > 0,5V, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (14)$$

$$b = b_0 \cdot v_{1,n+1/2}^k / V + b_1,$$

где  $V$  – интенсивность ударной волны, характеризуемая для тестовой задачи скоростью спутного потока  $v^{(2)}$ ;

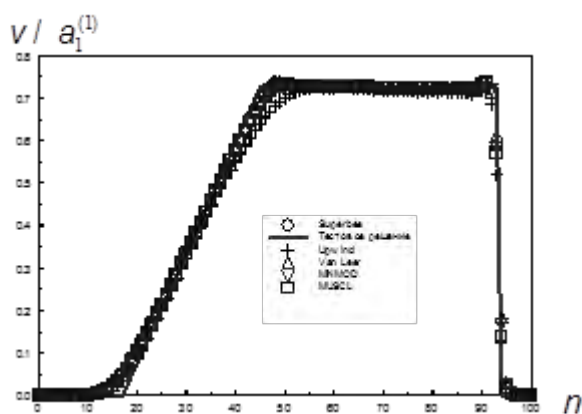
$b_0, b_1$  – коэффициенты, численные значения которых для различных разностных схем сведены в табл. 1.

Таблица 1

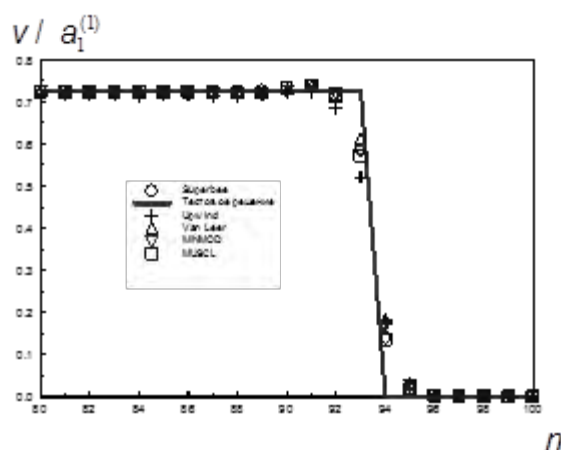
Коэффициенты искусственной вязкости

Разностная схема	$b_0$	$b_1$
Upwind	0.4	0.1
Superbee	0.9	0.1
van Leer	0.8	0.1
MINMOD	0.6	0.1
MUSCL	0.8	0.1

На рис. 3 представлены графики распределений относительной скорости газа  $v / a_1^{(1)}$  ( $a_1^{(1)}$  – скорость звука невозмущенного газа) и приведенной плотности газа, отнесенной к ее значению в камере высокого давления  $\rho_1 / \rho_1^{(5)}$ .



а)



б)

Рис. 3. Тестовая задача Римана: точное решение – сплошная линия; фигуры – различные варианты разностных схем (начало)

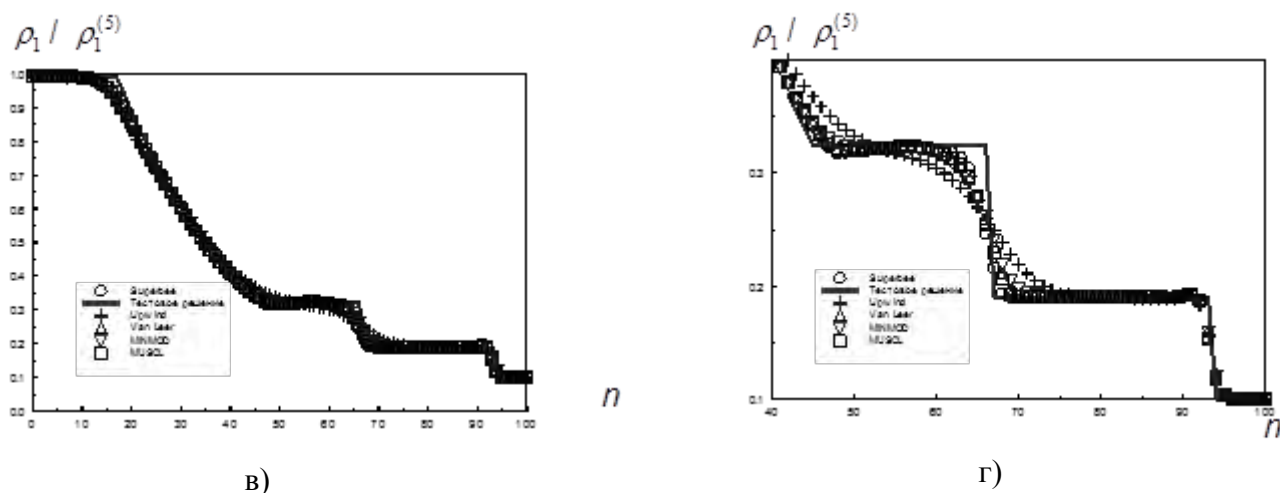


Рис. 3. Тестовая задача Римана: точное решение – сплошная линия; фигуры – различные варианты разностных схем (окончание)

Все расчеты выполнялись на сетке с количеством ячеек  $N = 100$  с числом Куранта  $K = 0.5$ , а число шагов по времени составляло  $\Theta = 129 - 130$ . На рис. 3 показаны: точное аналитическое решение тестовой задачи – сплошной линией, а численные решения для различных вариантов разностных схем – фигурами.

Из рассмотренных аппроксимаций наименьшую точность имеет разностная схема первого порядка точности Upwind. Численное размазывание ударной волны составляет 3 ячейки, а профиль контактного разрыва существенно отличается от точного решения и не имеет характерной «ступеньки». Из разностных TVD-схем второго порядка численное решение тестовой задачи наилучшее приближение имеет аппроксимация с ограничителем Superbee. Разрывы в течении двухфазная среда – газ в сквозном расчете сглаживаются на 2 ячейки на ударной волне и 5–7 ячеек – в области раздела сред.

### Список используемых источников

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. – М.: Наука, 1987. – Ч.1. – 464 с.
2. Садин Д.В. О жесткости систем дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих движения гетерогенных сред // Математическое моделирование. – 2002. – Т. 14, № 11. – С. 43–53.
3. Садин Д.В. Проблема жесткости при моделировании волновых течений гетерогенных сред с трехтемпературной схемой межфазного тепло- и массообмена // Прикладная механика и техническая физика. – 2002. – Т. 43, № 2. – С. 136–141.
4. Stelling G.S., Duinmeijer S.P.A. A staggered conservative scheme for every Froude Number in rapidly varied shallow water flows // Int. J. Numer. Meth. Fluids. – 2003. – P. 1329–1354.
5. Fringer O-B., Armfield S.W., Street R.L. Reducing numerical diffusion in interfacial gravity wave simulations // Int. J. Numer. Meth. Fluids. – 2005. – P. 301–329.
6. Садин Д.В. Модифицированный метод крупных частиц для расчета нестационарных течений газа в пористой среде // Журнал вычислительной метаматематики и математической физики. – 1996. – Т.36, №10. – С. 158–164.
7. Садин Д.В. Метод расчета волновых гетерогенных течений с интенсивным межфазным взаимодействием // Журнал вычислительной метаматематики и математической физики. – 1998. – Т.38, №6. – С. 1033–1039.
8. Садин Д.В. О сходимости одного класса разностных схем для уравнений нестационар-

ного движения газа в дисперсной среде // Журнал вычислительной метаматематики и математической физики. – 1998. – Т.38, №9. – С. 1572–1577.

9. Двухфазные моно- и полидисперсные течения газа с частицами / Л.Е. Стернин, Б.П. Маслов, А.А. Шрайбер, А.М. Подвысоцкий. – М.: Машиностроение, 1980. – 171 с.

10. Чудновский А.Ф. Теплообмен в дисперсных средах. – М.: Гостехтеориздат, 1954. – 444 с.

11. Иванов А.С., Козлов В.В., Садин Д.В. Нестационарное истечение двухфазной дисперсной среды из цилиндрического канала конечных размеров в атмосферу // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. – 1996. – № 3. – С. 60–66.

12. Садин Д.В. Основы теории моделирования волновых гетерогенных процессов. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2000. – 60 с.

13. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1987. – 840 с.

И.Ш. Шафигуллин,  
*кандидат техн. наук, доцент;*  
А.В. Кубуша,  
*кандидат военных наук*

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПИСАНИЮ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МНОГОУРОВНЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

В статье представлен анализ построения сложной организационно-технической системы (ОТС). При описании систем важно учитывать, что сложные ОТС и их органы управления принадлежат к классу иерархических систем. Рассмотрена теория многоуровневых иерархических систем.

Ключевые слова: модель ОТС, органы управления, иерархическая структура, система управления ОТС.

Построение сложной ОТС, в том числе ее органов управления, предполагает создание модели системы, позволяющей представить ее поведение в определенном диапазоне условий. Для создания модели систему необходимо описать, используя для этого результаты опыта (эксперимента или наблюдения) с помощью принятых в науке определенных систем обозначения.

Поскольку существует большое разнообразие методов представления, практическое значение приобретают формализованные методы, представляющие по существу формализованную (программно-реализуемую в ЭВМ) модель ОТС.

Поэтому в методологическом отношении для восприятия и понимания ОТС и ее системы управления (СУ) необходимо и достаточно описание ее осуществлять по функциональному, морфологическому, информационному и (при необходимости) математическому признакам.

При описании систем важно учитывать, что сложные ОТС и их органы управления принадлежат к классу иерархических систем. Поэтому в тех случаях, когда при требуемых для управления ограничениях по времени максимальная степень централизованной обработки информации становится невозможной, приходится распределять функции обработки информации и принятия решений между отдельными подсистемами и даже элементами системы.

В теории многоуровневых иерархических систем М. Месаровича предложены особые классы иерархических структур типа «слоев», «страт», «эшелонов», отличающиеся различными принципами взаимоотношений элементов в пределах уровня и различным правом вмешательства вышестоящего уровня в организацию взаимоотношений между элементами нижележащего.

Концепция слоев предложена М. Месаровичем для организации процессов принятия решений и служит для вертикальной декомпозиции (деления) системы по их сложности. Сложность решений зависит главным образом от целей и задач, поставленных перед системой.

Слои, или уровни сложности, принимаемого решения выделяются для уменьшения неопределенности ситуации, то есть определяется совокупность последовательно решаемых проблем. При этом выделение проблем осуществляется таким образом, чтобы решение вышестоящей проблемы определяло бы ограничения (допустимую степень упрощения) при моделировании на нижележащем уровне, т.е. снижало бы неопределенность нижележащей проблемы, но без утраты замысла решения общей проблемы.

Страта системы есть уровень описания средств достижения ее целей (решения задач системой), то есть уровень абстрагирования.

Концепция страт используется для моделирования системы. Любые сложные ОТС и их органы управления являются трудно описываемыми. Поэтому, вводя термин и определение «страта», необходимо стремиться задать сложную систему семейством моделей, каждая из которых описывает ту же самую систему с различных «точек зрения» (уровней абстрагирования). Такое описание системы возможно, например, на уровне управления, технических средств системы, технологии ее функционирования и т. д. В результате получается стратифицированное описание системы, которое позволяет проводить построение системы на одной или одновременно на нескольких стратах.

Эшелон системы есть уровень описания управления в данной системе. Концепция эшелонов упорядочивает подчиненность органов управления, принимающих решения, и обеспечивает взаимосвязь между соответствующим уровнем описания целей (задач) системы и уровнем описания средств их достижения (решения).

В теории М. Месаровича понятие многоэшелонной иерархической структуры вводится следующим образом: система представляется в виде относительно независимых, взаимодействующих между собой подсистем; при этом некоторые (или все) подсистемы имеют право принятия решений, а иерархическое расположение подсистем (многоэшелонная структура) определяется тем, что некоторые из них находятся под влиянием или управляются вышестоящими.

На рис. 1 представлена структура многоуровневой (иерархической) ОТС военного назначения (ВН) и принципиальная связь между ее различными уровнями и их описанием. В виду некоторой сложности данного рисунка, а также чтобы облегчить понимание представленных на рисунке структуры и связей и необходимо осуществить стратифицированное описание ОТС путем рассмотрения трех уровней абстрагирования в отношении: сложности принимаемых решений; средств достижения соответствующих целей системы; управления в системе.

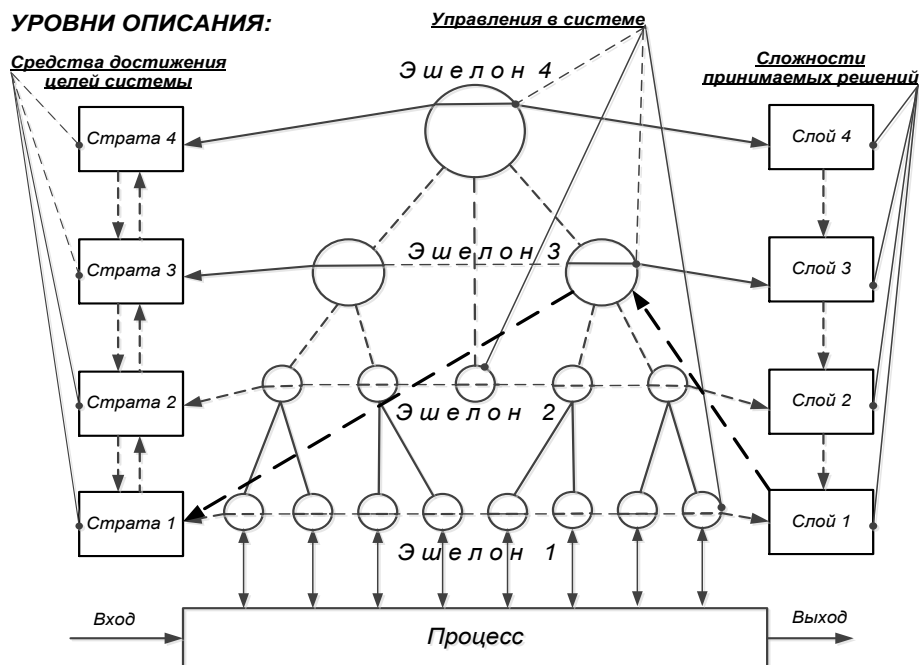


Рис. 1. Иерархическая структура многоуровневой ОТС ВН и принципиальная связь между ее уровнями и их описанием

В качестве первого слоя (уровня) сложности принимаемых решений принят уровень штатных подразделений соответствующей войсковой части. Главным образом на основе ее сил и средств может быть построена СУ полкового (бригадного) уровня иерархии управления войсками. При этом в цели (задачи) штаба войсковой части и управления подчиненных

подразделений входят определение состояния наличных сил и средств и построение рациональной (оптимальной) СУ полкового (бригадного) уровня управления войсками. Главная цель СУ войсковой части заключается в максимальном удовлетворении требований управления войсковой частью в мирное и военное время.

В качестве второго слоя (уровня) сложности принимаемых решений принят уровень штатных войсковых частей и подразделений соответствующего соединения. Главным образом на основе его сил и средств может быть построена СУ данного уровня иерархии управления войсками. При этом в цели (задачи) штаба соединения, командиров и штабов подчиненных войсковых частей входят определение состояния наличных сил и средств и построение рациональной (оптимальной) СУ данного уровня управления. Главная цель СУ соединения заключается в максимальном удовлетворении требований управления соединением в мирное и военное время.

В качестве третьего слоя (уровня) сложности принимаемых решений принят уровень штатных соединений соответствующего объединения, главным образом на основе его сил и средств может быть построена СУ данного уровня иерархии управления. При этом в цели (задачи) штаба объединения, командиров и штабов подчиненных соединений входят определение состояния наличных сил и средств и построение рационального (оптимального) варианта СУ данного уровня управления. Главная цель СУ объединения заключается в максимальном удовлетворении требований управления его войсками (силами) в мирное и военное время.

В качестве четвертого слоя (уровня) сложности принимаемых решений принят уровень штатных объединений военного округа, главным образом на основе сил и средств которого может быть построена СУ данного уровня иерархии управления. При этом в цели (задачи) штаба округа, командиров и штабов подчиненных объединений входят определение состояния наличных сил и средств и построение рационального (оптимального) варианта СУ данного уровня управления. Главная цель СУ военного округа заключается в максимальном удовлетворении в отношении требований управления его войсками (силами) в мирное и военное время.

Стрелки, расположенные между слоями сверху вниз, означают следующее: чем ниже уровень слоя (уровень иерархии управления), тем ниже уровень сложности принимаемых решений на данном уровне управления, и наоборот.

Первая страта раскрывает главным образом структуру и структурные свойства, содержит описание сил и средств (технических элементов) органов управления, технической подсистемы СУ [средств (техники) управления и связи, комплексов автоматизации управления и связи, средств механизации и т.п.] штатных подразделений соответствующей войсковой части и их рациональное (оптимальное) расположение при построении СУ полкового (бригадного) уровня управления войсками.

Вторая страта раскрывает структуру и структурные свойства, содержит описание сил и средств (технических элементов) органов управления, технической подсистемы СУ [средств (техники) управления и связи, комплексов автоматизации управления и связи, средств механизации и т. п.] войсковых частей соответствующего соединения и их рациональное (оптимальное) расположение при построении системы СУ данного уровня управления.

Третья страта раскрывает структуру и структурные свойства, содержит описание сил и средств (технических элементов) органов управления, технической подсистемы СУ [средств (техники) управления и связи, комплексов автоматизации управления и связи, средств механизации и т. п.] соединений соответствующего объединения и их рациональное (оптимальное) расположение при построении СУ данного уровня управления.

Четвертая страта раскрывает структуру и структурные свойства, содержит описание сил и средств (технических элементов) органов управления, технической подсистемы СУ [средств (техники) управления и связи, комплексов автоматизации управления и связи, средств меха-

низации и т. п.] объединений соответствующего военного округа и их рациональное (оптимальное) расположение при построении СУ данного уровня управления.

Стрелки, расположенные между стратами сверху вниз, означают следующее:

- чем ниже уровень страты, тем меньше средств достижения целей системы у данной страты (данного уровня иерархии управления), и наоборот;
- возможность со стороны вышестоящей страты (вышестоящего уровня иерархии управления) выделять соответствующие силы и средства и усиливать ими нижестоящую страту (нижестоящий уровень управления);
- возможность привлечения вышестоящей стратой (вышестоящим уровнем иерархии управления) соответствующих сил и средств нижестоящей страты (нижестоящего уровня управления) в целях решения поставленных задач.

Стрелки, расположенные между стратами снизу вверх, означают следующее:

- чем выше уровень страты, тем больше средств достижения целей системы у данной страты (данного уровня иерархии управления), и наоборот;
- возможность выделения и направления соответствующих сил и средств нижестоящей стратой (нижестоящего уровня иерархии управления) в адрес вышестоящей страты (вышестоящего уровня управления);
- возможность со стороны нижестоящей страты (нижестоящего уровня иерархии управления) подготавливать и направлять запрос в вышестоящую страту (вышестоящий уровень управления) о выделении необходимых сил и средств для усиления ими нижестоящей страты (нижестоящего уровня управления) в целях решения поставленных задач.

Управление в данной СУ военного округа, которая представляется как сложная, многоуровневая, иерархически упорядоченная система, осуществляется органами, пунктами, объектами управления, непосредственно ответственными за построение и применение его СУ.

Органы, пункты, объекты управления на каждом уровне иерархии управления с помощью соответствующих технических средств обеспечивают принятие надлежащих решений, осуществление процесса управления войсками (силами), имеющего необходимые вход и выход, и располагают соответствующими средствами достижения целей СУ. При этом управление в системе в целом, сложность принимаемых решений и средства достижения целей системы теснейшим образом взаимосвязаны и взаимозависимы.

Необходимо отметить еще одно важное обстоятельство.

Управление в данной системе может осуществляться через один или несколько уровней управления. В первом, более «простом», случае, например, орган управления объединения «выходит» непосредственно на орган управления (уровень) войсковой части (см. рис. 1): пунктирная стрелка «эшелон 3 – страта 1», стрелка в направлении «страта 1 – слой 1»; пунктирная стрелка «слой 1 – эшелон 3».

В целом органы (пункты) управления военного округа составляют несколько взаимосвязанных эшелонов.

Первый эшелон – органы (пункты, объекты) управления соответствующей войсковой части, на основе сил и средств которых может быть построена СУ полкового (бригадного) уровня управления войсками и обеспечена ее взаимосвязь с СУ батальонного (нижестоящего) уровня управления (на рис. 1 в целях упрощения он не показан).

Второй эшелон – органы (пункты, объекты) управления соответствующего соединения, на основе сил и средств которых может быть построена СУ данного уровня управления и обеспечена ее взаимосвязь с СУ полкового (бригадного) уровня управления войсками.

Третий эшелон – органы (пункты, объекты) управления соответствующего объединения, на основе сил и средств которых может быть построена СУ данного уровня управления и обеспечена ее взаимосвязь с нижестоящим уровнем управления.

Четвертый эшелон – органы (пункты, объекты) управления военного округа, на основе их сил и средств может быть построена СУ данного уровня управления войсками и связью и обеспечена ее взаимосвязь с нижестоящим уровнем управления.

Таким образом, одна и та же модель СУ военного округа описана на трех различных уровнях абстрагирования. Следовательно, модель системы связи объединения является системной, комплексной, кибернетической и оптимальной. По своей сути она представляет собой совокупность различных по назначению моделей, каждая из которых относится к определенному уровню иерархии и содержанию управления войсками (силами).

### **Список используемых источников**

1. *Ермишин А.Г.* Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях: учебник. – СПб.: ВАС, 2005. – Ч. 2. Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи. – 740 с.
2. *Месарович М., Мако Д., Такахара И.* Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
3. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: справочник: учебное пособие / под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 848 с.

М.А. Швайковский,  
*кандидат техн. наук, доцент;*  
А.В. Ильин,  
*кандидат техн. наук*

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ И МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗОЙ**

В статье рассматриваются критерии выбора устройств релейной защиты с использованием электро-механических реле и микропроцессорных устройств, исходя из технических возможностей и эксплуатационных свойств указанных устройств. Проведен анализ уязвимостей микропроцессорных устройств релейной защиты.

Ключевые слова: устройства микропроцессорной релейной защиты, электрические сети и системы, электро-механические устройства релейной защиты.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Очень часто причинами возникновения аварий в энергосистемах являются неправильные действия устройств релейной защиты. Причем указанные ошибки проявляются в процессе развития аварии. Поэтому одним из важнейших свойств устройств защиты является их надежность.

В последние пару десятилетий в мировой энергетике наметилась очевидная тенденция: наблюдается процесс массового перехода на устройства релейной защиты нового поколения с использованием микропроцессорной элементной базы.

### **ОЦЕНКА МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЗАЩИТ НА ОСНОВЕ СВОЙСТВА «НАДЕЖНОСТЬ»**

Устройства микропроцессорной релейной защиты (УМПРЗ) характеризуют большим количеством достоинств, принижая достоинства электро-механических реле. Основным является утверждение о том, что УМПРЗ обеспечивают очень высокую надежность релейной защиты в отличие от электро-механических реле, выработавших свой ресурс как морально, так и физически [1]. Вместе с тем совершенно очевидно, что УМПРЗ представляют собой сложные технические системы, состоящие из огромного количества компонентов. Как и любые сложные системы, они не могут обладать абсолютной надежностью и при этом не иметь недостатков. Однако информации о реальном положении дел в парке УМПРЗ недостаточно. И особенно ее не хватает в отношении технических проблем, связанных с эксплуатацией УМПРЗ. Технические описания весьма скудны и не позволяют проанализировать возможные недостатки. В связи с этим рассматривать УМПРЗ как средство, позволяющее решить все возможные проблемы релейной защиты, некорректно.

По данным производителей, обосновать выбор защиты в пользу УМПРЗ можно по очевидным причинам – устройства на электро-механических реле не позволяют обеспечить выполнение технических требований, предъявляемых к релейной защите. Следует отметить, что в действительности никаких новых функций в релейную защиту УМПРЗ не внесли, а возможности высококачественных электро-механических реле полностью обеспечивают все потребности релейной защиты. В релейной защите нет таких задач, которые нельзя было бы решить с помощью электро-механических или полупроводниковых реле [1].

Электрические сети и системы существуют и успешно функционируют во всем мире уже более ста лет, в то время как микропроцессорные защиты находятся в эксплуатации в достаточно заметном количестве всего около 10–15 лет.

Совершенствование электромеханических реле было прекращено примерно 30 лет тому назад в связи с тем, что основные усилия разработчиков были направлены на создание электронных, а затем и микропроцессорных защит.

Однако ключом к указанному процессу послужили не принципиальные недостатки электромеханических реле. Дело в том, что затраты на полностью автоматизированное (включая автоматическое тестирование) производство УМПРЗ многократно дешевле затрат на производство, ручную сборку, последующую наладку высокоточных электромеханических реле. То есть производство УМПРЗ полностью автоматизировано, мощности позволяют производить контактную сборку печатных плат с использованием современной технологии поверхностного монтажа SMD с высокой скоростью. Например, в тайваньской компании Pacific Microelectronics 1 элемент собирается за 0,06 секунды, за смену становится возможным выпустить до 1 млн. компонентов ([http://www.pacificm.ru/assembling/smd\\_assembly/](http://www.pacificm.ru/assembling/smd_assembly/)). Сравнимые мощности и те же технологии SMD есть и у отечественных производителей, например в компании «Невская электронная компания» (<http://necompany.ru/sborka-plat>).

Именно из печатных плат и состоят УМПРЗ. Следовательно, решающая роль при выборе между УМПРЗ и электромеханическим реле принадлежит экономическим соображениям. При этом продажная стоимость УМПРЗ остается очень высокой. Именно в сфере производства, а не эксплуатации и проявляется самое важное преимущество УМПРЗ.

Также производителями отмечается отсутствие у электромеханических реле возможности записи аварийных режимов, возможности обмена информацией между реле и т. п. Указанные же функции в УМПРЗ реализованы. Но к преимуществу данное качество можно отнести условно, поскольку в случае нарушения в работе самого устройства вместе с основными функциями релейной защиты страдает и функция записи информации о наступившем аварийном событии.

В настоящее время существуют различные микропроцессорные самописцы аварийных режимов, способные передавать данные по сети, которые регистрируют аварийные режимы значительно лучше и полнее, чем это делают УМПРЗ; имеются развитые системы передачи информации, хорошо работающие с электромеханическими реле. В отличие от УМПРЗ, микропроцессорные самописцы не влияют на надежность электроснабжения и не провоцируют аварии в сети при отказах в работе, поэтому их широкое использование можно считать весьма перспективным. Инновации в области новых материалов и новых компонентов позволяют построить реле защиты на совершенно новых принципах, к которым можно отнести, например, гибридные герконо полупроводниковые реле [2].

### **ОЦЕНКА МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЗАЩИТ НА ОСНОВЕ СВОЙСТВА «РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ»**

Рассмотрим еще одно из важнейших предъявляемых к устройствам релейной защиты требований – ремонтпригодность.

Как отмечают производители блоков УМПРЗ как импортного, так и отечественного производства, их изделия обладают высокой ремонтпригодностью, поскольку собраны из быстросъемных модулей. Отмечается, что ремонт УМПРЗ осуществляется методом замены модуля и не предусматривает наличия высокой квалификации для специалистов по ремонту.

Однако блоки (модули) УМПРЗ выполняются на многослойных печатных платах по технологии поверхностного монтажа и поэтому являются неремонтпригодными, в то время как стоимость каждого блока (модуля) весьма велика. В действительности это может обернуться

весьма серьезной проблемой. Производители предлагают неисправный блок просто заменить.

Вместе с тем стоит иметь в виду, что затраты на приобретение нового блока могут составлять до 20–25 % от стоимости самого УМПРЗ. Причем выход из строя блока (модуля) может быть обусловлен неисправностью какой-то незначительной детали внутри этого блока, к примеру высыханием конденсатора на печатной плате.

## **ОЦЕНКА МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЗАЩИТ НА ОСНОВЕ СВОЙСТВА «ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ»**

Еще одним важным аспектом, влияющим на принятие решения выбора устройств защиты, является вопрос электромагнитной совместимости. Поскольку современная микроэлектроника весьма чувствительна к электромагнитным излучениям, проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) становится актуальной и для УМПРЗ, особенно если говорить об использовании указанных устройств в сфере обеспечения боеготовности. Многие специалисты обращают внимание на частое несоответствие реальных параметров систем заземления на трансформаторных подстанциях требованиям, предъявляемым УМПРЗ [3], следствием чего выступают отказы в работе последних. В настоящее время все чаще в публикациях встречается такое понятие, как «электромагнитный терроризм» [4]. Однако знания специалистов в области релейной защиты о проблеме электромагнитного терроризма, то есть преднамеренных воздействий на устройства релейной защиты мощных электромагнитных излучений, весьма ограничены. Поскольку УМПРЗ в своей работе используют программное обеспечение для управления и диспетчеризации с высокой степенью иерархичности, то не исключается также возможность хакерских атак. Эти проблемы ранее не были известны и приобрели свою актуальность с появлением микропроцессорных устройств, поскольку их чувствительность к электромагнитным помехам в тысячи раз выше, чем у электромеханических реле. Совмещение функций нескольких защит в одном блоке МПЗ эквивалентно по своим последствиям одновременному отказу сразу нескольких видов защиты при отказе одного из элементов блока.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В связи с указанными выше свойствами микропроцессорных систем при переходе средств электроснабжения ответственных потребителей специальных объектов на УМПРЗ следует предусматривать дополнительную независимую резервную защиту на случай чрезвычайных ситуаций без использования микропроцессорных устройств. Само по себе повышение технического уровня устройств релейной защиты не обязательно ведет к повышению эффективности в части реагирования на возникающие повреждения. Так, например, устаревшие к настоящему времени электромеханические и отчасти электронные статические устройства релейной защиты при правильном выборе защитных функций и уставок безусловно обеспечат более эффективную защиту сети, чем микропроцессорные устройства без достаточно обоснованного выбора указанных параметров [5].

## **Список используемых источников**

1. Гуревич В. И. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты: мифы и реальность // Вести в электроэнергетике. – 2008. – №4.
2. Гуревич В. И. Как нам обустроить релейную защиту: мнения российских специалистов и взгляд со стороны // Вести в электроэнергетике. – 2007. – №2.

3. *Матвеев М. В.* Электромагнитная обстановка на объектах определяет ЭМС цифровой аппаратуры // *Новости электротехники.* – 2002. – № 1(13).
4. *Газизов Т. Р.* Электромагнитная совместимость и безопасность: образовательные аспекты // *Вестник Томского государственного педагогического университета.* – 2003. – Вып. 4.
5. *Шнеерсон Э. М.* Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007.

В.И. Щербаков,  
кандидат техн. наук, доцент

## **РАСШИРЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ТРОСОВЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

Предложен подход к анализу и характеристике потенциальных областей применения космических тросовых систем на основе их новой классификации. В основу классификационных признаков положены базовые философские категории «форма» и «содержание», раскрывающие по-новому суть процессов взаимодействия в космических тросовых системах.

Ключевые слова: космическая тросовая система, физические процессы, классификационный признак, форма и содержание взаимодействия, информационный продукт.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Космическая тросовая система (КТС) – это комплекс искусственных космических объектов, соединенных длинными, тонкими, гибкими элементами, совершающий орбитальный полет. Космические тросовые системы – новые нетрадиционные орбитальные конструкции, создаваемые человеком в космосе, – позволяют выполнять задачи, которые невозможно, нецелесообразно или неэкономично решать с помощью существующих средств космической техники.

КТС – это сложная механическая система с распределенными параметрами, компоненты которой имеют разнородные физико-механические свойства. В наиболее простом виде КТС представляет собой связку двух космических аппаратов, соединенных тросом-нитью. Основным отличием тросовых систем от традиционных космических объектов является их большая протяженность, которая может достигать десятков и сотен километров (а в отдельных случаях – даже тысяч и десятков тысяч километров) с сохранением при этом механической, энергетической и других связей между концевыми телами. Именно протяженность обуславливает ряд замечательных свойств этих систем, в частности возможность более сильного взаимодействия с внешними полями планеты.

В результате взаимодействия связанных и разнесенных в пространстве объектов друг с другом и окружающими полями в КТС возникают и реализуются различные физические процессы, которые принципиально невозможно или затруднительно генерировать существующими орбитальными средствами. Это, в частности, энерго-массовый обмен, генерация сверхдлинных волн, электроэнергии, силы Ампера и др. Результаты этих процессов имеют выраженный прикладной аспект.

Связующий концевые массы трос является с позиции механики неудерживающей гибкой связью. В зависимости от целевого назначения КТС трос может быть электропроводным или неэлектропроводным.

Электропроводный трос имеет многослойное исполнение, и его погонная масса превышает единицы килограммов на километр длины. Функцией электропроводного троса, помимо указанных выше, является передача электроэнергии и информации в системе. Электропроводный трос также является активным элементом в процессах взаимодействия КТС с внешней средой.

Неэлектропроводный трос в основном выполняет функцию проводника в процессе энерго-массового обмена в системе связанных тел. В качестве материалов для изготовления таких тросов используются искусственные волокна. Как правило, неэлектропроводный трос дли-

ной менее сотни километров имеет однородное сечение, а его погонная масса составляет десятки-сотни граммов на километр длины.

В качестве концевых объектов связки, в общем случае, могут быть различные орбитальные и суборбитальные аппараты, астероиды, планеты и их спутники.

Физические принципы, лежащие в основе процессов взаимодействия связанных объектов друг с другом и окружающей средой, будем называть *новыми техническими принципами* (НТП).

Приведем описание и классификацию НТП взаимодействия и обозначим соответствующие этим физическим принципам потенциальные области военно-прикладного применения КТС.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КТС

Несмотря на обилие научных работ и публикаций по проблематике КТС, а также солидный «возраст» рассматриваемой концепции, к сожалению, на сегодняшний день не существует общепризнанной классификации этого объекта и системного взгляда на проблему в целом. Видимо поэтому, несмотря на масштабные потенциальные возможности тросовых систем, их роль и место в космических технологиях ближайшего и отдаленного будущего явно недооцениваются.

Впервые классификация КТС по утилитарному признаку была представлена в монографии [1]. В этой работе достаточно подробно описаны потенциальные возможности КТС по решению широкого круга прикладных задач в области искусственной микрогравитации, гравитационной стабилизации, генерации на орбите электроэнергии и электромагнитной тяги, зондирования из космоса верхних слоев атмосферы, организации маневров и транспортных межорбитальных потоков.

В работе [2] в качестве классификационных признаков рассмотрены способ стабилизации углового движения КТС, длина соединительного троса и масса привязного КА. По первому признаку все КТС подразделяются на радиальные (ориентированные по местной вертикали центра масс) и вращающиеся. Если система вращается вокруг центра масс синхронно с орбитальным движением, то при ее ориентации вдоль местной вертикали возникает режим гравитационной стабилизации. Такие системы называют радиальными. Если же средняя угловая скорость движения КТС превосходит орбитальную, то система называется стабилизированной в процессе вращения, или просто – вращающейся. Для классификационных признаков (длина троса и масса привязного КА) введено понятие «эталонные значения». Эталонная длина троса – 20–100 км, эталонная масса – 500 кг. Это позволяет выделить малые тросовые системы (протяженностью от десятка метров до нескольких километров и с массами привязных тел от единиц до десятков килограммов) и протяженные тросовые системы (длиной в несколько сотен или даже тысяч километров). Длина троса в сверхпротяженных КТС составляет десятки тысяч километров.

Рассматриваются и другие классификационные признаки, например сложность системы с точки зрения математического моделирования ее функционирования [3].

В настоящей работе предлагается провести классификацию КТС по содержательным признакам, выражающим различные аспекты процессов внутреннего и внешнего взаимодействия в КТС.

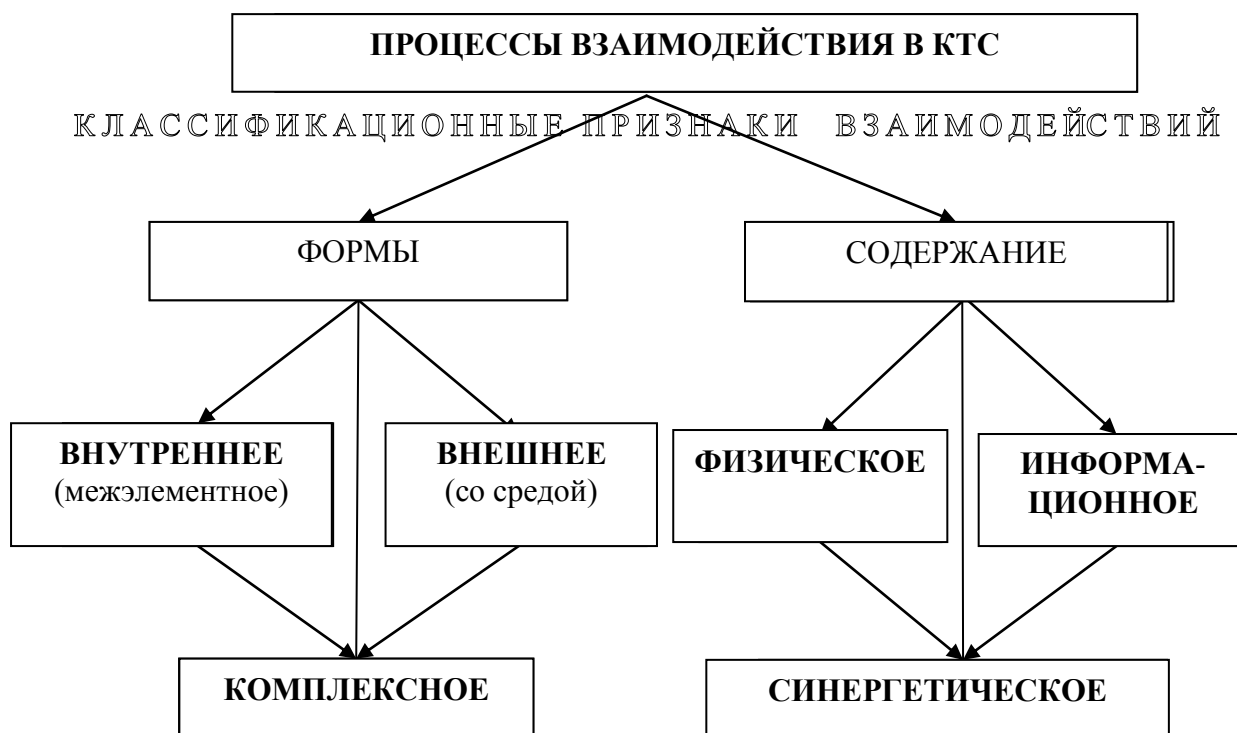
Все процессы взаимодействия в КТС можно классифицировать по форме и по содержанию.

Форма взаимодействия характеризует отношения между составляющими КТС объектами. По этому признаку все процессы взаимодействия можно условно разделить на три большие группы. Это процессы внутреннего или межэлементного взаимодействия связанных косми-

ческих объектов, внешнего взаимодействия КТС с окружающей средой, а также симбиоз этих форм.

Содержание процесса взаимодействия характеризует его суть, то есть раскрывает механизм взаимодействия и вытекающие из него полезные эффекты. По этому признаку все процессы взаимодействия также разделим на три класса. Это процессы физического, информационного и синергетического (комплексного) взаимодействия. В свою очередь, класс процессов физического взаимодействия можно разделить на подклассы на основе классификации механизмов физического взаимодействия в КТС. Это, в частности, процессы механического (силового, импульсного), магнитного, электромагнитного, термоэмиссионного взаимодействий и т. д.

Предложенную классификацию наглядно можно отобразить в виде графа (рис .1).



*Рис. 1. Классификация процессов взаимодействия в космических тросовых системах*

Таким образом, всё множество процессов в КТС можно представить в виде следующего списка классов взаимодействий:

- I. Внутреннее межэлементное физическое.
- II. Внешнее с физическими полями.
- III. Комплексное физическое.
- IV. Внутреннее информационное.
- V. Внешнее информационное.
- VI. Комплексное информационное.
- VII. Внутреннее синергетическое.
- VIII. Внешнее синергетическое.
- IX. Комплексное синергетическое.

Классификация процессов взаимодействия в КТС по названным основополагающим признакам отражает объективную реальность физического мироустройства. Вместе с тем эта классификация сугубо утилитарна, так как все известные к настоящему времени концепции и проекты КТС обретают в ней свою нишу.

Разделение взаимодействий в КТС на классы I – IX целесообразно и однозначно, а вся их совокупность образует полную группу процессов. Последующий обзор проектов КТС и потенциальных областей их практического применения проанализируем в рамках именно этой классификации.

Рассмотрим еще один классификационный признак ввиду его исключительной важности. Выше было отмечено, что главным условием для реализации процессов взаимодействия в КТС является механическое перемещение связанных объектов относительно друг друга и относительно информационных и физических полей планеты. Следовательно, классификационным признаком может выступать движение связанных объектов в различных системах координат. Таких систем координат и соответствующих им движений можно выделить три:

1. Абсолютное движение КТС в инерциальной геоцентрической системе координат. В этой системе удобно задавать координаты планет и звезд, а также описывать магнитное поле Земли. Абсолютное движение КТС является в этом случае, по сути, движением относительно неподвижных звезд и магнитного поля. Параметры этого движения определяют процессы взаимодействия токопроводящего троса с магнитным полем Земли.

2. Относительное движение КТС в гринвичской системе координат. В этой системе координат удобно задавать силовую функцию гравитационного поля Земли, функцию плотности атмосферы, подвижные и неподвижные наземные источники информации. Параметры относительного движения в гринвичской системе определяют процессы аэродинамического взаимодействия КТС с разреженной атмосферой и информационного взаимодействия с наземными источниками информации.

3. Относительное движение КТС в орбитальной системе координат, связанной с центром масс всей системы или центром масс привязного КА. В этой системе удобно задавать силовую функцию реакции связей и других управляющих воздействий. Параметры относительного движения связанных объектов в орбитальных координатах определяют процессы механического взаимодействия в КТС. Этими параметрами удобно описывать динамические процессы свертывания-развертывания КТС.

Рассмотренная классификация КТС по видам позиционирования его движения в трех системах координат полезна с точки зрения унификации подходов и требований к результатам моделирования и управления движением КТС, реализующей различные процессы взаимодействия.

Безусловно, все девять ранее рассмотренных классов взаимодействий в КТС следует рассматривать с учетом позиционирования движения КТС в той или иной системе координат.

## ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КТС

Приведем краткую характеристику проектов КТС [1-15] и потенциальных областей их применения в рамках предложенной классификации.

I. В первом классе проектов КТС доминантный признак внутреннего межэлементного взаимодействия – это определяющая роль реакции натянутого троса на формирование траектории относительного движения всей связки. При этом механическая неудерживающая связь в виде троса-нити выступает в качестве проводника механической энергии, которая может перераспределяться между концевыми массами. На использовании этого эффекта основаны проекты локальных и межорбитальных систем маневрирования, космические лифты, протяженные гравитационно-устойчивые космические конструкции различного целевого назначения (системы микрогравитации, выносные стыковочные узлы, системы топливозаправки и др.).

II. Доминантным признаком здесь является физический эффект взаимодействия троса с окружающей средой (разреженной атмосферой, ионосферой, магнитным полем). Например, использование токопроводящих тросов, взаимодействующих с магнитным полем и ионосферой Земли, позволяет за счет использования части кинетической энергии орбитального дви-

жения КТС вырабатывать электроэнергию мощностью несколько сотен киловатт. С другой стороны, электроэнергией, получаемой от бортового генератора, можно поддерживать или медленно поднимать орбиту тросовой системы без затрат топлива.

В последние годы особую актуальность приобрела проблема космического мусора, скапливающегося на низких околоземных орбитах.

Одним из способов решения названной проблемы является увод отработавших КА с использованием тормозящей силы, создаваемой с помощью электродинамической КТС. Под действием тока в неизолированном тросе возникает сила Ампера, направленная против движения системы и обуславливающая электродинамическое торможение.

III. Функция троса как проводника орбитальной механической энергии в условиях взаимодействия элементов КТС с окружающей средой является признаком комплексного физического взаимодействия. Классическим примером такого взаимодействия является проект торможения и увод с низких околоземных орбит в атмосферу техногенных объектов с помощью наддувных привязных баллонов.

IV. Классификационным признаком информационного взаимодействия в КТС является конфигурация цепочки «источник – приемник (потребитель)» информации. Результатом (эффектом) такого взаимодействия является новый информационный продукт с заданными наперед параметрами и свойствами, полученный математическими методами интерпретации исходной (измерительной) информации.

Внутреннее информационное взаимодействие предполагает накопление информации о физическом состоянии концевых масс и связующего троса с целью ее обработки и решения идентификационных задач, когда источники информации и ее измерители (или потребители) находятся на объектах КТС, откуда поступает текущая позиционная информация об относительном движении связанных объектов и силе натяжения троса. Как правило, измерительная аппаратура размещается на базовом аппарате, с которым связывают орбитальную систему координат. В этом случае можно измерять угловые координаты и скорости линии визирования привязного КА, расстояние и относительную скорость, а также перегрузку от силы натяжения троса. К этому классу информационного взаимодействия в КТС можно отнести и проект автономной навигации КА по привязным зондам.

V. Класс КТС с внешним информационным взаимодействием предполагает, что одно из окончечных устройств информационной цепочки находится вне КТС.

Если источник информации находится вне КТС, то радиально устойчивую тросовую конструкцию можно использовать в качестве несущего элемента для различных вариантов орбитальных интерферометров с базой до нескольких километров. Большая база и, следовательно, большая разрешающая способность позволяют проводить тонкие исследования различных источников радиоизлучения в пассивном режиме приема сигналов. В частности, это позволяет с высокой точностью определять координаты наземных источников радиоизлучения. Столь же эффективно решается обратная задача – по сигналам известных передающих станций можно уточнять орбиту КТС.

С помощью КТС вдоль ее орбиты можно вести постоянный мониторинг магнитного поля Земли, а также зондировать атмосферу на высотах порядка 100–120 км, труднодоступных для исследования другими способами.

Если потребитель информации находится вне КТС, то можно реализовать внешнее информационное взаимодействие в виде радиоканала связи, когда трос в качестве передающей антенны позволяет осуществлять эффективное излучение радиоволн низкочастотных диапазонов. Этот принцип может найти применение в глобальных системах связи, в частности для связи с подводными лодками.

Вышеназванный класс КТС прошел успешную экспериментальную апробацию – четырехкилометровая тросовая система просуществовала на орбите около 12 лет [14], продемонстрировав тем самым возможность долгосрочного функционирования КТС на низких околоземных орбитах.

VI. Характерным признаком шестого класса информационных КТС является то, что источники информации находятся внутри и вне КТС. Конфигурация информационной цепочки при этом выглядит следующим образом. Приемник информации из внешней среды (измеритель) установлен на привязном КА, положение которого определяется по автономным навигационным измерениям с базового КА связки. Это позволяет выполнить координатно-временную привязку внешних измерений. К этому классу можно отнести проект исследования атмосферы с помощью вращающейся в плоскости орбиты центра масс КТС, которая, проходя в своем вращении сквозь разные слои атмосферы, сканирует ее состояние. Такая стабилизированная вращением КТС может использоваться также для исследования физики космической плазмы и магнитосферы. Особый интерес представляет использование подобной КТС в качестве интегрального датчика для исследований полей Земли. Накапливая на полуобороте вращения относительно центра масс результаты воздействия в виде изменения угловой скорости вращения, система позволит получить интегральную оценку разности воздействий на привязные тела. Вращающаяся система с двумя пробными концевыми телами с разными баллистическими коэффициентами может быть использована для исследования широтных изменений плотности атмосферы.

VII. В седьмом классе КТС между связанными КА осуществляется согласованное информационно-силовое взаимодействие. Типичным примером такого взаимодействия могут служить различные способы управляемого развертывания КТС из монолитного состояния в заданное конечное фазовое состояние, например методы терминального наведения, в которых управляющее воздействие в виде силы натяжения троса формируется по мере накопления и обработки результатов автономных измерений параметров относительного движения привязного КА. Этому классу КТС соответствует большинство маневрирующих тросовых систем, управление которыми построено на принципе обмена (перекачки) полной механической энергии всей системы.

VIII. Восьмой класс КТС характеризуется согласованным информационно-физическим взаимодействием КТС с внешней средой. Проект высотной аэродинамической «трубы» принадлежит этому классу КТС. Суть его заключается в том, что перемещенный с орбиты на длинном тросе в верхние слои атмосферы исследуемый образец испытывает силовое воздействие среды, которое через реакцию троса передается на базовый КА. Совместная обработка телеметрируемых силовых параметров и автономных навигационных измерений позволит опытным путем определять аэродинамические характеристики образца в натурных условиях.

IX. Последний, самый сложный по форме и содержанию вид взаимодействия в КТС предполагает одновременное информационное сканирование состояния КТС и внешней среды и выработку на этой основе управляющих воздействий изменением силы натяжения троса для достижения целевого эффекта. Характерной для этого вида взаимодействия в КТС является классическая задача терминального наведения привязного КА в подвижную точку. Это может быть задача сближения привязного стыковочного причала с КА-союзника или уклонение связанных КА от сближения (перехвата) КА-противника.

Предложенная классификация КТС на основе анализа физических и информационных процессов взаимодействия позволяет систематизировать функциональные возможности космических тросовых систем и потенциальные области их практического применения.

### Список используемых источников

1. Белецкий В.В., Левин Е.М. Динамика космических тросовых систем. – М.: Наука, 1990. – 336 с.
2. Волошенюк О.Л., Пироженко А.В., Храмов Д.А. Космические тросовые системы – перспективное направление космической техники и технологии // Космическая наука и технологии. – Днепропетровск, 2011. – Т.17, № 2. – С. 32–44.

3. Динамика космических систем с тросовыми и шарнирными соединениями / А.П. Алпатов, В.В. Белецкий, В.И. Драновский и др. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2007. – 560 с.
4. Андреев А.В., Хлебникова Н.Н. Космические системы с гибкими связями // Итоги науки и техники. – М.: ВИНТИ, 1991. – Т. 12. – 195 с.
5. Иванов В.А., Ситарский Ю.С. Динамика полета системы гибко связанных космических объектов. – М.: Машиностроение, 1986. – 248 с.
6. Иванов В.А., Купреев С.А., Либерзон М.Р. Космические тросовые системы. Некоторые аспекты практического использования. – М.: СИП РИА, 2005. – 100 с.
7. Беляев М.Ю., Осипов В.Г., Шошунов Н.Л. Проект экспериментальной тросовой системы с атмосферным зондом // Тезисы докладов V Международного Аэрокосмического конгресса JSA'06. – М., 2006. – С. 320.
8. Исследование возможности постановки тросового эксперимента на базе КА «Фотон-М» №4, «Бион-М» №1 / К.С. Елкин, С.Б. Федоров, А.В. Даниленко, С.Ц. Лягушина, А.А. Цыбулин // Тезисы докладов VI Международного Аэрокосмического конгресса JSA'09. – М., 2009. – С. 261–262.
9. Горбулин В.И., Щербаков В.И. Двухъярусная система транспортного обслуживания малых космических аппаратов // Вопросы электромеханики: труды ВНИИЭМ. – 2013. – Т.132. – №1 – С. 21–26.
10. Щербаков В.И. Спуск с орбиты малого КА с помощью космической тросовой системы. – LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Germany. – 2012. – 232 с.
11. Cosmo M.L., Lorenzini E.C. Tethers in Space Handbook: Smithsonian Astrophysical Observatory, 1997.
12. Carrol J.A., Oldson J.C. SEDS characteristics and capabilities, 1995.
13. Martinez – Sanchez M., Hastings D.E. A systems study of a 100 KW electrodynamic tether // Astronaut. Sci. 1987. – 35, № 1. – P. 75–96.
14. Сайт: [www.satobs.org/noss.html](http://www.satobs.org/noss.html)
15. Сайт: [www.yes2.info/](http://www.yes2.info/)

Л.К. Горшков,  
доктор техн. наук, профессор

## ЭТИМОЛОГИЧЕСКИЕ КОРНИ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ И РЕЧЕВЫХ ОБОРОТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

В статье представлены исторические сведения о становлении теоретической механики как науки и ее терминологии. Показано, что употребляемые в настоящее время основные понятия и речевые обороты теоретической механики имеют этимологические корни древнегреческого, латинского, средневеково-европейского и отечественного происхождения. Приведены характерные примеры употребления широко известных терминов, их первоначальный смысл и современная трактовка.

Ключевые слова: теоретическая механика, термины и речевые обороты, этимологические корни, первоначальный смысл, современное значение.

Слово «этимология» происходит от сочетания древнегреческих слов: *etimon* – истина, основа; *logos* – учение, что в целом означает научные истоки возникновения того или иного слова или выражения. В современном понимании этимология – это наука, исследующая происхождение слов, их первоначальную структуру и семантические (грамматические, речевые) связи.

Известно, что теоретическая механика как наука возникла в IV веке до н. э. благодаря трудам Аристотеля (трактат «Механические проблемы»). Оттуда идет и современный термин «механика», хотя еще в V веке до н. э. так называлось устройство, используемое в Древней Греции при смене декораций в театральных постановках. Далее развитие механики связано с именами многих греческих, латинских, европейских, а также русских ученых, поэтому этимологические основы терминов теоретической механики следует искать главным образом в греческих, латинских, средневеково-европейских и русских корнях слов и выражений. В этой связи преподавателям теоретической механики и других дисциплин механического цикла, прежде всего лекторам, можно высказать пожелание чаще объяснять своим слушателям исторические и этимологические особенности употребляемых при изучении курса специальных терминов и понятий. Начать при этом можно с истории возникновения слова «механика», восходящего к греческому *μηχανή* (механе), что означает в своей первооснове, во-первых, вымысел, хитрость; во-вторых – орудие, машина, какое-либо механическое устройство или сооружение. Примечательно, что первый смысл этого распространенного термина употребляется в современном русском языке, а именно – махинация.

Л. Эйлер называл механику «наукой о движении, изложенной аналитическим методом». Были и другие толкования науки о движении, например: И. Бернулли называл механику наукой о «мертвых силах», а самой наукой о движении он считал динамику как науку о «живых силах». Кстати, само слово «динамика» было введено в обиход европейских ученых Г.-В. Лейбницем. Мнение И. Бернулли поддерживал и современник Петра Великого, русский ученый Г.Г. Скорняков-Писарев. Но в то же время великий Г. Галилей в своих лекциях по механике называл ее наукой как о движении, так и о равновесии тел под действием сил. В.И. Даль в своем толковом словаре [1] понятие «механика» характеризовал следующим образом: «Это математика, приложенная к законам равновесия и движения тел; искусство применять силу к делу и строить машины; наука выгодного приспособления сил».

Механика как наука, то есть в первую очередь теоретическая, входит в цикл физико-математических дисциплин и базируется на широком употреблении в русском языке соответствующих терминов, этимологические особенности некоторых из них показаны в табл.1.

Названия разделов теоретической механики в ее современном понимании восходят к соответствующим греческим терминам:

- 1)  $\sigma\tau\alpha\tau\iota\kappa\eta$  (статике) – статика, то есть учение о равновесии тел;
- 2)  $\kappa\iota\nu\eta\mu\alpha\tau\iota\kappa\eta$  (кинематике) – кинематика, то есть учение о геометрических параметрах движений тел без учета их масс и действующих на них сил;
- 3)  $\delta\iota\nu\alpha\mu\iota\varsigma$  (динамис),  $\delta\iota\nu\alpha\mu\iota\kappa\eta$  (динамике) – динамика, то есть учение о движении тел под действием сил;
- 4)  $\kappa\iota\nu\eta\tau\iota\kappa\eta$  (кинетике) – кинетика, то есть группа разделов теоретической механики (статика и динамика), учитывающая действие сил на твердые тела.

Таблица 1

**Этимологические особенности общеупотребительных научных терминов  
греческого происхождения**

Названия терминов	Исходная запись и русская транскрипция	Первоначальный смысл общеупотребительных терминов
Математика	Μαθηματικὴ (математика)	наука, знание
Физика	Φυσικὴ (фисис)	природа, натура
Аксиома	Ἀξίωμα (аксиома)	1) почет, уважение, достоинство; 2) положение, не требующее доказательств
Теорема	Θεωρημα (теорема)	1) зрелище, увеселение; 2) исследованное и доказанное положение
Лемма	Λεμμα (лемма)	1) скорлупа, кожица; 2) утверждение; 3) предложение, на котором основывается последующее положение
Гипотеза	ὑποθεσις (ипотесис)	1) основа, подкладка; 2) основание для некоторого принципа

В русский язык многие термины, используемые в механике, вошли как прямые переводы (кальки) иностранных слов, но известны и оригинальные определения, лучше объясняющие смысл понятий механики, чем многие иностранные: например, «равновесие» (М.В. Ломоносов) вместо латинского «*aequilibrium*»; «ускорение» как заменитель французского «*acceleration*»; «равнодействующая» вместо французского термина «*resultante*» и т. п.

Много интересных сведений о специальной терминологии в механике можно найти в книге Я.Г. Пановко [2], но целью нашей работы является этимология, то есть история появления терминов, их «биография», а не их употребление.

Трудны для восприятия современными учащимися такие, например, понятия, как разнообразные «моменты»: времени, инерции, пар сил, пар вращений, статический, кинетический и главные моменты, в том числе и главный момент сил инерции. Не совсем понятно и происхождение словесных сочетаний типа «голономная связь», «голономная система», понятий о кинетической и потенциальной энергиях, о поперечной и радиальной скоростях и ускорениях, когда существуют параллельно им понятия о переносных и относительных скоростях и ускорениях. Конечно, смысл всех этих терминов подробно объясняется в современных учебниках и учебных пособиях, но в них не всегда показывается история их возникновения или происхождения. Можно взять в качестве примера понятия о моментах силы, инерции, количества движения.

Термин «момент» содержит в себе несколько смысловых значений [3]: краткий промежуток времени, миг, мгновение; отдельный период развития чего-либо; название ряда кинематических характеристик в механике. Рассмотрим подробнее последнее значение термина. В связи с употреблением этого слова в механике необходимо подчеркнуть, что «момент» понимается как воздействие, влияние чего-либо на кинематические характеристики движения и

равновесия тел под действием силы или системы сил: момент силы характеризует *вращательное воздействие*, а момент инерции отражает влияние *инертности (массы)* тела при его вращательном движении относительно какой-либо оси. При этом подразумевается не только скалярная величина (модуль) силы, но и ее направленность, то есть вектор силы. Кроме того, момент силы не всеми учеными принимался как произведение модуля силы на ее плечо [4]. Например, Леонардо да Винчи понимал момент силы в современной его трактовке (он даже ввел понятие «потенциального плеча» как длины перпендикуляра, опущенного из точки на линию действия силы), но вот Г. Галилей связывал момент с расстоянием, пройденным телом под действием силы (современное понятие о работе силы). Мнение Г. Галилея поддерживал и Ж.-Л. Лагранж [5].

Можно пояснить происхождение и дальнейшее употребление понятия «момента количества движения» или «кинетического момента». При этом особенно непонятен второй вариант названия. Впервые в русский язык это понятие ввел профессор МГУ Н.Н. Бухгольц в 1937 году. Однако в западной технической литературе оно упоминалось уже в конце XIX века, о чем свидетельствуют лекции В. Пуссена [6]. В настоящее время оба варианта употребления этого понятия рекомендованы к использованию [7]: «главный момент количества движения» в качестве основного варианта, а «кинетический момент» – в качестве дополнительного.

Подобным образом можно проанализировать «биографии» других, упомянутых (и не упомянутых) выше терминов и понятий теоретической механики, да и не только ее, но и других дисциплин, например таких, как сопротивление материалов, теория упругости, строительная механика и др., где так же широко используются понятия о моментах (сил, пар сил, сечений, инерции).

Такая работа выходит за рамки небольшой статьи, но тем не менее взамен индивидуальных историй появления тех или иных терминов представим краткий словарь наиболее употребляемых в настоящее время терминов механики, восходящих, например, к греческому языку и латыни (табл. 2).

Таблица 2

### Основные греческие и латинские термины в теоретической механике

Оригинальное название понятия или термина	Первоначальный смысл и русская транскрипция	Значение в современном курсе теоретической механики
γυροζ	вращение (гироз)	1) составная часть слов «гироскоп», «гироскопия»; 2) вращательное движение, вращение вокруг оси или полюса
γραφο	чертить, писать (графо)	1) описание, запись; 2) составная часть сложных слов (география и т. п.)
ενεργεια	1) деятельность, активность; 2) энергия (энергейя)	энергия, энергетика (характеристика движения тел)
ισοζ	равный, одинаковый (исос)	1) равный, подобный; 2) составная часть сложных слов (изометрия, изобара, изотерма и т. п.)

Продолжение табл. 2

Оригинальное название понятия или термина	Первоначальный смысл и русская транскрипция	Значение в современном курсе теоретической механики
μετροεο	измерять, замерять, мерять (метрео)	измерять, измерение, замер, мера
νομος	закон (номос)	1) закон (движения, например); 2) составная часть сложных слов типа номограмма, номография
οδοζ	путь (одос)	1) пройденный путь, расстояние; 2) одометрия, измерение пройденного пути
ρεο	течь, струиться, стремиться (рео)	составная часть слов типа «реология»
σκληροζ	жесткий, твердый (склерос)	1) жесткость, твердость (тел); 2) склероз, изменение состояния сосудов (ужесточение, обизвествление) – гидравлика, медицина
σκοποζ	наблюдать (скопос)	составная часть слов, обозначающих названия наук, приборов (электроскопия, микроскоп, кинескоп и т. п.)
τριβη	трение (трибе)	1) трение, сила трения; 2) составная часть слов «трибология», «триботехника»
χρονοζ	время (хронос)	время
componere	складывать (компонере)	сложение векторов (сил, пар сил, скоростей, ускорений и т.п.)
congruens	совпадающий (конгруенс)	конгруэнтность, совпадение направлений и т. п.
gravitas	тяжесть (гравитас)	1) сила тяжести; 2) гравитация, сила земного тяготения
impulsus	толчок, импульс (импульсус)	импульс (силы, например)
inertia	бездействие, вялость, косность (инерция)	инерция, инертность
limes	предел, конечная цель (лимес)	предел, лимит, граница
massa	масса, первичная материя (масса)	масса (тела, точки); мера инертности
mobilis	подвижный (мобилис)	движущийся, движимый
motus	движение (мотус)	1) движение; 2) мотор, моторика
principis	1) первый, главный; 2) повелитель; 3) принцип (принципс)	главный, принципиальный, основной
potentia	1) сила, мощь, влияние; 2) потенция, возможность (потенция)	1) потенциальная (энергия); 2) возможность возникновения чего-либо; 3) предполагаемая способность

Окончание табл. 2

Оригинальное название понятия или термина	Первоначальный смысл и русская транскрипция	Значение в современном курсе теоретической механики
resistere	сопротивляться (резистере)	1) сопротивление (материалов); 2) резистентность, способность сопротивляться чему-либо
scalae	1) лестница, ступени; 2) школа; 3) шкала (скалае)	1) шкала (приборов); 2) ступень развития чего-либо
spatium	путь; протяженность чего-либо; пространство (спатиум)	1) путь (линейный, угловой); 2) длина чего-либо; 3) пространство
tempus	время (темпус)	1) время; 2) длительность какого-либо процесса.
tensio	напряжение (тензио)	напряжение, интенсивность распределения чего-либо
trajiciere	перебрасывать (тражицере)	1) перенос, перемещение; 2) траектория
vector	носитель, несущий (вектор)	1) вектор (силы, скорости, ускорения и т. п.); 2) направление действия; 3) своеобразная ракета-носитель с заданным направлением действия

Приведенные этимологические характеристики широко употребляющихся в механике слов, выражений, речевых оборотов, конечно, не исчерпывают всю соответствующую терминологию, но, думается, проливают определенный свет на историю возникновения, а значит, и на первоначальный смысл понятий, используемых при изучении какого-либо предмета (в нашем случае – теоретической механики), что, на наш взгляд, будет способствовать как более полной передаче знаний от преподавателей к слушателям, так и усвоению последними всей глубины («потаенного смысла») изучаемого предмета.

В заключение хотелось бы привести слова Аристотеля: «Признак знающего человека – способность передавать знания», – с очень существенным дополнением великого русского педагога К.Д. Ушинского: «Знай свой предмет и излагай его ясно».

### Список используемых источников

1. Даль В.И. Толковый словарь живого великорусского языка. – М.: Русский язык, 1981. – Т.2. – 779 с.
2. Пановко Я.Г. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1985. – 287 с.
3. Современный толковый словарь русского языка / под ред. С.А. Кузнецова. – М.: Ридерз Дайджест, 2004. – 960 с.
4. Щелкачёв В.Н. Проблемы педагогики высшей школы. Вариационные принципы механики. – М.: Нефть и газ, 1996. – 238 с.
5. Веселовский И.Н. Очерки по истории теоретической механики. – М.: Высшая школа, 1974. – 287 с.

6. *Пуссен де ла Валлен Ш.Ж.* Лекции по теоретической механике / пер. с франц. – М.: Гос. изд. иностр. литературы, 1948. – Т.1. – 339 с.

7. Теоретическая механика; терминология, буквенные обозначения. – М.: Изд. АН СССР, 1984. – Вып. 102.

И.М. Дугин,  
кандидат философских наук

## **К РАЗРАБОТКЕ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ НРАВСТВЕННОГО ВОСПИТАНИЯ УЧАЩИХСЯ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (СИСТЕМНО-АНТРОПОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД)**

Изложено основное содержание системно-антропологического подхода как методологического средства разработки педагогической концепции нравственного воспитания учащихся общеобразовательных учебных заведений МО РФ.

Ключевые слова: методологический подход, нравственное воспитание, педагогическая концепция, закономерность нравственного воспитания, принцип нравственного воспитания, требования к нравственному воспитанию.

Среди общеобразовательных учебных заведений России особое место принадлежит общеобразовательным учебным заведениям МО РФ. В настоящее время в их состав входят: Екатеринбургское, Казанское, Московское, Санкт-Петербургское, Тверское, Ульяновское, Уссурийское суворовские и Нахимовское военно-морское (Санкт-Петербург) училища; Санкт-Петербургский, Кронштадтский морской, Московский (пансион воспитанниц Минобороны России) кадетские корпуса; Оренбургское, Ставропольское, Краснодарское, Тюменское президентские кадетские училища; Московское военно-музыкальное училище и Аксайский Даниила Ефремова казачий кадетский корпус. В общеобразовательных учебных заведениях МО РФ одновременно обучаются около 9 тысяч учащихся. Свои общеобразовательные учебные заведения имеются также у МВД и ФСБ (Санкт-Петербургское и Новочеркасское суворовские училища, Санкт-Петербургский пограничный кадетский корпус). Они призваны удовлетворить объективную потребность государства и общества в высокопрофессиональных, обладающих высокими нравственными качествами государственных служащих (военнослужащих), способных принимать ответственные управленческие решения с учетом моральных критериев, проявлять заботу и внимание к окружающим, с достоинством и честью служить Отечеству.

Необходимость качественного решения такой важной социальной задачи актуализирует разработку современной концепции нравственного воспитания учащихся общеобразовательных учебных заведений МО РФ. Анализ современных педагогических концепций (систем) воспитания подрастающего поколения показывает, что в их структуре можно выделить два относительно самостоятельных раздела – методологический и собственно педагогический.

Содержание методологического раздела концепций составляют философские и психологические идеи и понятия, составляющие общий «методологический абрис» для деятельности педагогов. Система таких регулятивных идей и понятий составляет методологический подход к воспитанию. Авторами концепций используются разные методологические подходы – деятельностный, коммуникативный, аксиологический, личностно-ориентированный, информационный, эмоционально-ценностный. Каждому из подходов присущи свои философско-психологические представления о нравственности, нравственном опыте и нравственном развитии человека, а следовательно, и определяемые ими в конечном итоге научно-педагогические взгляды на учащегося как предмет нравственного воспитания, педагогическую сущность, содержание и структуру этого процесса. В контексте каждого подхода обосновывается и своя, специфичная для него, совокупность психолого-педагогических требова-

ний к нравственному воспитанию учащихся. Анализ педагогических исследований, связанных с нравственным воспитанием подрастающего поколения, которые были выполнены в «методологических границах» данных подходов, позволяет сделать определенные выводы.

1. Большая часть методологических подходов ориентирована на частичное, односторонне-социологическое представление о нравственности, нравственном опыте и нравственном развитии учащегося как феномена социальных, детерминированных общественными отношениями.

2. Использование в качестве ключевых объяснительных категорий понятий деятельность, общение, ценность, личность, информация, эмоции и других редуцирует целостность нравственного бытия учащегося к одной из его проекций.

3. Односторонность и редукция представлений о нравственности, нравственном опыте и нравственном развитии учащегося закономерно формирует неполное представление о нем как предмете нравственного воспитания. Это обстоятельство существенно ограничивает возможность обоснования целостной системы психолого-педагогических требований к нравственному воспитанию учащихся общеобразовательных учебных заведений МО РФ, на основании которых могла бы быть разработана современная концепция их нравственного воспитания.

Представляется, что преодолеть эту ограниченность можно, если в качестве философско-психологической базы исследования проблем нравственного воспитания учащихся использовать системно-антропологический подход. Теоретический фундамент системно-антропологического подхода составляют перечисленные ниже научные представления.

1. Разработанное *Б.Г. Ананьевым* и развитое рядом петербургских философов, психологов и педагогов научное представление о человеке как целостном единстве природных, социальных, культурологических и субъектных характеристик. В данном представлении отражена многомерность человека как «антропологической целостности» (термин *В.Н. Сагатовского*), а также многомерность его нравственного опыта.

2. Представление ряда отечественных исследователей о нравственном воспитании подростков и юношей как о сложном системном динамическом педагогическом явлении.

Синтез данных научных положений позволяет дать следующее определение системно-антропологического подхода. Системно-антропологический подход – это целостная совокупность философских, общенаучных, психологических, собственно педагогических регулятивных идей и понятий, обосновывающих взаимосвязь и обусловленность всех компонентов нравственного воспитания учащихся, исходя из представления об учащемся как внутреннем единстве его сущностных антропологических характеристик – индивид, личность, индивидуальность, субъект деятельности, осмысленных в их нравственном содержании.

За счет опоры на данные широкого круга современных наук о человеке, интеграции общепедагогического, общенаучного и конкретно-научного уровней анализа педагогических явлений системно-антропологический подход имеет ряд достоинств:

а) позволяет преодолеть узость социологического понимания нравственности. Осмыслить нравственность как феномен онтологически многомерный, укорененный в человеческом бытии, связанный с его природными, социальными, культурологическими, субъектными основаниями;

б) обеспечивает формирование наиболее полного, целостного, адекватного современному уровню развития педагогики представления об учащемся как предмете нравственного воспитания, о «пластах» его нравственного опыта, модусах и детерминантах нравственного развития, компонентах и функциях нравственного воспитания;

в) дает возможность развить научно-педагогические представления о закономерностях и принципах нравственного воспитания учащихся;

г) позволяет на основе представлений об учащемся как предмете нравственного воспитания, закономерностях и принципах нравственного воспитания учащихся обосновать совокупность психолого-педагогических требований к нравственному воспитанию учащихся об-

щеобразовательных учебных заведений МО РФ и на этой основе усовершенствовать его систему.

Целостное представление об учащемся как предмете нравственного воспитания, «пластах» его нравственного опыта, модусах и детерминантах нравственного развития, компонентах и функциях нравственного воспитания отражено в исходной методологической матрице системно-антропологического подхода (табл. 1).

Таблица 1

**Исходная методологическая матрица системно-антропологического подхода**

Сущностная антропологическая характеристика учащегося	«Пласт» нравственного опыта учащегося	Модус нравственного развития учащегося	Детерминанты нравственного развития учащегося	Компонент нравственного воспитания учащегося	Функция нравственного воспитания учащегося
Индивид	Элементарная нравственная природная groundwork	Эмоционально-природный	Природные свойства учащихся	Средство создания педагогических условий для развития у учащихся способности к эмпатии, сочувствию, сопереживанию	Нравственно-психологическая адаптация
Личность	Общественная и групповая мораль	Социологический	Социальные нормы	Аспект педагогически управляемой социализации	Нравственная социализация
Индивидуальность	Нравственность индивидуального культурного пространства	Культурологический	Духовные ценности	Ценностно-смысловой диалог	Нравственно-культурная идентификация
Субъект нравственной активности	Автономная мораль	Деятельный	Нравственная активность учащегося	Средство создания педагогических условий актуализации нравственной активности учащихся	Нравственная субъективация

В матрице показано, что учащийся как предмет нравственного воспитания представляет собой единство своих сущностных антропологических характеристик – индивида, личности, индивидуальности, субъекта нравственной активности. Каждая из сущностных антропологических характеристик учащегося специфична с точки зрения того «пласта» нравственного опыта, в границах которого он осуществляет свое поведение, модусов и детерминант его нравственного развития, а также соответствующих ей компонентов и функций нравственного воспитания. Подчеркнем, что такая «нравственно-педагогическая» спецификация сущностных антропологических характеристик учащегося условна и допустима лишь в абстракт-

ции. Она осуществляется в целях более полного и четкого теоретического представления об учащемся как предмете нравственного воспитания. Раскроем содержание исходной методологической матрицы системно-антропологического подхода более глубоко.

*Индивид* – это сущностная антропологическая характеристика учащегося как природного существа. Наличие природных оснований социального, в том числе и нравственного, поведения обосновывается в работах представителей классической эволюционной этики (Г. Спенсер; К. Кесслер, П.А. Кропоткин, Дж. Хаксли и др.); этологии (Ч.О. Уитмен, К. Лоренц, Н. Тинберген и др.); социобиологии (Э. Уилсон, М. Рьюз, В.П. Эфроинсон и др.), генетики поведения (М. Ридли, И.М. Шмерлина), психологической антропологии (В.И. Слободчиков, Е.И. Исаев), а также в концепциях геннокультурной коэволюции (Ч. Ламсден, А. Гушурст), взаимного альтруизма (Р. Триверс), совокупной приспособленности (У.Д. Гамильтон). Наличие «природной составляющей» в нравственном поведении подтверждается экспериментами П.В. Симонова, обнаружившего в явлении «эмоционального резонанса» присущую человеку и некоторым высшим животным способность рефлексивного характера – эмоционально реагировать на экстремальные переживания другого живого существа. В контексте системно-антропологического подхода с индивидуальными свойствами учащегося соотносится особый «пласт» его нравственного опыта – «элементарная нравственная природная грунтовка». Этому «пласту» соответствует эмоционально-природный модус нравственного развития учащихся, детерминантами которого являются некоторые генетические, физиологические, нейропсихологические и другие индивидуальные характеристики учащегося. Его содержанием является поведение учащихся, обусловленное природной склонностью к эмпатии, сочувствию, сопереживанию. Данный «пласт» нравственного опыта учащихся обеспечивает их первичное нравственно-психологическое вхождение в социум. Деформации в структуре «элементарной нравственной природной грунтовки» учащихся могут быть причинами их конфликтности, агрессивности, эгоизма, дивергентного поведения и других антиподов нравственности. Нравственное воспитание в границах элементарной нравственной природной грунтовки является средством создания педагогических условий развития способности к эмпатии, которая является эмоциональной основой формирования у будущих государственных служащих (военнослужащих) гуманного отношения к людям, некоторых нравственно-коммуникативных качеств и выполняет функцию их первичной нравственно-психологической адаптации в социуме.

*Личность* – это сущностная антропологическая характеристика учащегося как социального существа, способного осуществлять нормативно заданное социальное взаимодействие с другими людьми. «Пласт» нравственного опыта учащегося как личности обусловлен общественной и групповой моралью. В его пределах нравственное развитие учащихся представлено социологическим модусом. Его детерминантами являются моральные нормы, регулирующие социальное взаимодействие учащихся с другими людьми как членами общества в целом или отдельных социальных групп. Нравственное воспитание учащегося как личности является одним из аспектов педагогически управляемой социализации и реализует функцию его нравственной социализации. Нравственная социализация учащихся должна обеспечить: освоение учащимися определенного репертуара социальных ролей, моделей и образцов поведения, необходимых государственному служащему (военнослужащему) для исполнения профессиональных обязанностей, интеграции в современный дифференцированный социум, успешной вертикальной и горизонтальной социальной мобильности; развитие у учащихся, как будущих государственных служащих (военнослужащих), способности к осуществлению социальных действий (М. Вебер), которые по своему этическому содержанию соотносятся с действиями других людей или ориентируются на них; смягчение деструктивного влияния на нравственную сферу учащихся стихийной и отклоняющейся социализации (А. И. Ковалева).

*Индивидуальность* – это сущностная антропологическая характеристика учащегося как культурного существа, осваивающего содержание разнообразных форм духовной культуры.

«Пласт» нравственного опыта учащегося как индивидуальности образует его индивидуальное нравственное культурно-смысловое пространство. В границах этого «пласта» нравственное развитие учащегося осуществляется в культурологическом модусе, а его детерминантами являются духовные ценности. Нравственное воспитание учащегося как индивидуальности приобретает форму педагогически организованного ценностно-смыслового диалога, в ходе которого учащиеся осваивают духовные ценности. Основной функцией этого компонента нравственного воспитания является нравственно-культурная идентификация учащихся. Подготовка учащихся к государственной (военной) службе предполагает, что в процессе нравственно-культурной идентификации они осваивают корпоративные, общечеловеческие, национальные и профессиональные базовые моральные ценности.

Нравственное поведение учащегося как индивида, личности и индивидуальности осуществляется либо под влиянием внешнего регулятора (моральная норма, граница ролевого поведения, культурная традиция, обычай и др.), либо внутреннего природно-эмоционального импульса. Такое обусловленное социальной, культурологической или природной необходимостью поведение учащегося является легальным (*И. Кант*), а не собственно моральным, осуществляемым на основании внутренне свободной нравственной мотивации. Оно обеспечивает прагматическое, утилитарное, внешне ролевое, конформное поведение учащегося в социуме. Способность осуществлять такое поведение необходимо учащемуся, но недостаточно для того, чтобы быть нравственно воспитанным человеком. Нравственная воспитанность учащегося может достичь своей содержательной полноты, если он в своем нравственном развитии достигает уровня субъекта нравственной активности.

Понятие «субъект нравственной активности» практически не используется в работах по нравственному воспитанию подрастающего поколения. Разработка этого понятия актуализируется в связи с необходимостью воспитания у учащихся общеобразовательных учреждений МО РФ как будущих государственных служащих (военнослужащих) способности к сознательному бескорыстному служению Отечеству, ответственному поступку, выработке собственной нравственной позиции, обоснованному моральному выбору, нравственному самосовершенствованию и других. Теоретический фундамент для разработки этого понятия содержится в отечественной философской и психолого-педагогической литературе. Анализ ее содержания позволяет заключить, что нравственная активность учащихся – это ведущий вид их социальной активности. Она проявляется, прежде всего, в самостоятельном, ориентированном на моральные ценности и нормы поведении учащихся, в их самовоспитании. Следовательно, *субъект нравственной активности* – это сущностная антропологическая характеристика учащегося как существа, способного самостоятельно на основании внутренне свободной мотивации осуществлять свое нравственное поведение. «Пласт» нравственного опыта учащегося как субъекта нравственной активности заключен в пределах автономной морали. В «зоне» влияния автономной морали нравственное развитие учащегося осуществляется в деятельном модусе, а его детерминантом является его собственная нравственная активность. Реализуясь в ответственном поступке, нравственном выборе, социально полезной деятельности и в других формах, нравственная активность учащегося связана с «работой» внутренних механизмов нравственной регуляции – совестью, моральным долгом, нравственным принципом и другими. Нравственное воспитание, обеспечивающее развитие учащегося в сфере автономной морали, является средством создания условий для актуализации нравственной активности учащихся и выполняет функцию их нравственной субъективации. Педагогическая сущность нравственной субъективации состоит в развитии у учащихся как будущих государственных служащих (военнослужащих) способности совершать нравственные поступки, исходя из убеждения в их нравственной ценности. Функция нравственной субъективации является ведущей среди функций нравственного воспитания учащихся и обеспечивает их интеграцию. В результате такой интеграции учащийся как объект педагогического воздействия обретает интегративное свойство – «нравственно-антропологическую целостность». В психологическом отношении учащийся как «нравственно-антропологическая це-

лостность» отличается развитостью и согласованностью всех компонентов нравственной сферы: интеллектуального, эмоционального, волевого, поведенческого, коммуникативного, мотивационного. Нравственно-антропологическая целостность, если она сформирована у учащегося, многообразно проявляется в его сознании, деятельности, поведении. Например, как единство нравственного сознания и поведения; как ориентация сознания на высшие бытийные ценности – Добро, Истину, Красоту; как соответствие совершаемых поступков нравственной позиции; как согласованность эмоционального и рационального в ответственном поступке; как чувство гармонии с миром, другими людьми, самим собой и в других вариантах.

Отраженное в содержании матрицы представление о взаимосвязи сущностных антропологических характеристик учащихся, их нравственного опыта, модусов и детерминант нравственного развития, компонентов и функций нравственного воспитания позволяет выдвинуть предположение об объективно существующей *психолого-педагогической закономерности нравственного воспитания*. Данная закономерность выражается в зависимости результатов нравственного воспитания учащихся от степени реализации в учебно-воспитательном процессе образовательного учреждения потенциала природных, социальных, культурологических, субъектных детерминант их нравственного развития. На основе этой психолого-педагогической закономерности и современных представлений о возрастных особенностях нравственного развития подростков и юношей представляется возможным сформулировать *антропологический принцип нравственного воспитания учащихся общеобразовательных учебных заведений МО РФ*. Его педагогическая сущность заключается в *необходимости целенаправленной, поэтапной интеграции в целостном учебно-воспитательном процессе образовательного учреждения МО РФ компонентов и функций нравственного воспитания, состав и содержание которых обусловлены научно-антропологическим представлением об учащемся как предмете нравственного воспитания*.

Данный принцип содержит ряд психолого-педагогических требований к нравственному воспитанию учащихся МО РФ, которые целесообразно подразделить на интегральные, парциальные и генерализированные требования. Интегральные психолого-педагогические требования к нравственному воспитанию обусловлены «объемным», целостным представлением об учащемся как единстве сущностных антропологических характеристик. Парциальные (частичные) психолого-педагогические требования обусловлены представлениями о каждой сущностной антропологической характеристике учащегося в ее нравственно-бытийном и психолого-педагогическом содержании. Генерализированные психолого-педагогические требования к нравственному воспитанию обусловлены особенностями организации учебно-воспитательного процесса и жизнедеятельности учащихся в общеобразовательных учебных заведениях МО РФ по сравнению с массовой общеобразовательной школой.

Назовем интегральные психолого-педагогические требования к нравственному воспитанию учащихся.

1. Все содержательные и процессуальные характеристики нравственного воспитания как целостного педагогического явления должны быть соразмерными, конгруэнтными целостному научно-антропологическому представлению об учащемся как объекте нравственного воспитания. Поскольку целостность является атрибутом любой развитой социальной системы, то в данном психолого-педагогическом требовании отражена необходимость и возможность системного построения нравственного воспитания учащихся общеобразовательных учебных заведений МО РФ. Так как ключевым «элементом» системы нравственного воспитания общеобразовательного учебного заведения МО РФ является сам учащийся, то такая педагогическая система является гуманистической. Учащийся в такой системе является целью и объектом ее влияния, реализуемого через совместную деятельность и общение участников учебно-воспитательного процесса, и одновременно активным участником этого процесса. Он же – и результат функционирования и развития системы, так как под ее влиянием осуществляется его нравственное развитие.

2. Практическое осуществление целенаправленной поэтапной интеграции компонентов и функций нравственного воспитания в целостном учебно-воспитательном процессе образовательного учреждения предполагает разработку логически последовательных с точки зрения возрастных особенностей нравственного развития учащихся младшего подросткового, старшего подросткового, младшего юношеского возрастов, относительно самостоятельных по воспитательным задачам и содержанию интеграционных воспитательных модулей. Целевая поэтапная интеграция обеспечивает ступенчато-преемственный характер нравственного воспитания, а также синергический, системный эффект нравственного воспитания, позволяющий повысить его эффективность.

3. Совокупность методов и средств нравственного воспитания учащихся по составу должна быть такой, чтобы в ходе их применения осуществлялось развитие всех компонентов нравственной сферы учащихся: интеллектуального, эмоционального, волевого, поведенческого, коммуникативного, мотивационного.

Перечислим парциальные психолого-педагогические требования, обусловленные сущностной антропологической характеристикой учащегося – индивид (нравственно-психологическая адаптация учащихся).

1. В процессе нравственного воспитания необходимо создавать благоприятные условия для развития природных предпосылок к эмпатии, сочувствию, сопереживанию. На ее основе у них формируется гуманное отношение к людям, развиваются важные для гражданского служащего (военнослужащего) нравственно-коммуникативные качества.

2. В ходе нравственного воспитания важно изучение характерных для конкретного возраста учащихся особенностей нравственного развития, которые определяются темпом созревания нервной системы, социальной ситуацией развития и проявляются в особенностях ведущего типа деятельности и общения.

3. Нравственное воспитание учащихся важно осуществлять с учетом их половозрастных особенностей, темперамента, природных задатков и других индивидуальных свойств, которые в значительной мере индивидуализируют нравственное поведение учащихся.

4. Нравственное воспитание предполагает непрерывное психолого-педагогическое сопровождение учащихся, обеспечивающее коррекцию их возрастной агрессивности и конфликтности, профилактику разнообразных форм дивергентного поведения, обусловленного сложным сочетанием причин природного и социального характера.

5. В ходе нравственного воспитания учащихся должны создаваться благоприятные для их нравственного развития социальные, экологические, гигиенические, эргономические условия. В этой связи особое значение приобретает развитие у учащихся потребности в здоровом образе жизни, занятии спортом, физическом совершенствовании.

Перечислим парциальные психолого-педагогические требования, обусловленные сущностной антропологической характеристикой учащегося – личность (нравственная социализация учащихся).

1. Нравственная социализация должна обеспечивать освоение учащимися моральных норм, требований, правил, которые должны в перспективе позволить им осуществлять ролевое поведение государственного служащего (военнослужащего), успешно интегрироваться в современный социум, осуществлять эффективное социальное взаимодействие.

2. Нравственная социализация предполагает создание в учебном образовательном заведении адекватного ее задачам социального пространства. Открытое большому социуму, соответствующим образом оформленное и символизированное, оно обеспечивает накопление учащимися опыта ролевого взаимодействия, освоение ими совокупности социальных ролей, способствующих их профессиональному становлению как будущих государственных служащих (военнослужащих). Структуру этого социального пространства составляют индивидуальные и групповые агенты социализации: педагоги, семьи учащихся, первичный коллектив, разнообразные творческие объединения учащихся по интересам внутри учебного обра-

зовательного заведения, различные государственные, общественные, молодежные организации за его пределами, средства массовой информации.

3. Процесс нравственной социализации должен способствовать смягчению деструктивного влияния на нравственную сферу учащихся стихийной и отклоняющейся социализации. Такое деструктивное влияние может проявляться в форме дивиантного или асоциального поведения учащихся. Для последнего характерно то, что учащийся не совершает правонарушений и не переходит запретный моральный барьер, но его поведение не соответствует социальным ожиданиям и дезорганизует людей – ложь, обман, грубость, бездействие, безответственность и другое.

Перечислим парциальные психолого-педагогические требования, обусловленные сущностной антропологической характеристикой учащегося – индивидуальность (нравственно-культурная идентификация учащихся).

1. Нравственно-культурная идентификация предполагает создание в общеобразовательном учебном заведении целостного культурного пространства, в котором обеспечивается «погружение» учащихся в мир духовной культуры, формируется, расширяется и углубляется их индивидуальное нравственное культурно-смысловое пространство. Аксиологическую основу этого пространства составляют базовые моральные ценности, содержащиеся в общечеловеческом, национальном, профессиональном и корпоративном «пластах» духовной культуры. Приобщение к базовым моральным ценностям формирует основу для культурного развития учащихся как будущих государственных служащих (военнослужащих).

2. В ходе нравственного воспитания необходимо создавать условия для ценностно-смыслового диалога участников воспитательного процесса, в ходе которого осуществляется трансляция учащимся духовных ценностей и их усвоение.

Парциальные психолого-педагогические требования, обусловленные сущностной антропологической характеристикой учащегося – субъект нравственной активности (нравственная субъективация учащихся).

Нравственная субъективация должна обеспечивать деятельный характер нравственного воспитания учащихся, что предполагает педагогическое проектирование и создание ситуаций совместной нравственно развивающей деятельности учащихся – урочной, внеурочной, игровой, социально полезной, научно-исследовательской и иной.

1. Так как наиболее рельефно и целостно нравственная активность учащихся проявляется в ходе совершения ими самостоятельных нравственных деятельных актов – нравственном выборе, ответственном поступке, отстаивании принципиальной нравственной позиции и других, то созданию условий для их совершения учащимися в процессе нравственной субъективации должно уделяться со стороны педагогов особое внимание.

2. Поскольку нравственное поведение учащихся в сфере автономной морали внутренне свободно, добровольно, то оно должно основываться на их стремлении к добру, а не на внешнем принуждении, а потому базироваться преимущественно на ненасильственных методах и приемах воспитания – диалоге, положительном примере, убеждении, использовании нравственных дилемм, подкреплении положительной мотивации и других. Анализ трудов отечественных исследователей позволяет прийти к выводу, что нравственное воспитание, основанное на несвободе, принуждении не может быть успешным по следующим причинам:

- принуждение, сопровождаемое запретами, фиксирует внимание учащихся на запретных поступках и тем самым провоцирует к их совершению;

- в случае доминирования в воспитательном процессе принуждения поведение учащихся со временем приобретает защитно-оборонительный характер;

- в условиях регулярного применения принуждения происходит постепенная адаптация к нему со стороны учащихся, что заставляет педагогов изыскивать более сильные формы принуждения, использовать в качестве средства воздействия на учащегося коллектив;

- поведение, усвоенное учащимися в результате регулярного принуждения, становится стереотипным. Учащийся фиксируется на деталях, у него формируется тревожность. В конеч-

ном итоге поведение учащегося лишается творческого содержания, внутренней свободы, жестко структурируется, становится менее вариативным. Это приводит к снижению уровня его поведения до более ранних стадий и, следовательно, к замедлению темпов нравственного развития. Воспитание же, основанное на ненасильственных методах взаимодействия с учащимися, придает их поведению свободный характер, превращает такое поведение в средство самореализации. В результате усвоенное учащимися поведение становится более гибким, легко трансформируемым, адаптивным. Это приводит к развитию у них положительных чувств, симпатии, аттракции по отношению к воспитателям, терпимости к недостаткам других людей. Очевидно, что такие изменения в поведении учащихся способствуют их становлению как субъектов нравственной активности. Однако приоритет в использовании ненасильственных методов взаимодействия с учащимися в процессе нравственного воспитания не исключает предъявления педагогических требований, административного нормирования их жизнедеятельности, использования внушения, а иногда и принуждения. Это объясняется тем, что педагоги в общеобразовательных учебных заведениях МО РФ нередко сталкиваются с ситуациями, когда учащиеся совершают хулиганские поступки, грубо нарушают дисциплину. Поэтому нравственное воспитание учащихся должно не только развивать у них нравственные качества, но и препятствовать развитию качеств негативных.

4. Процесс нравственного воспитания учащихся, особенно в начальной стадии, организуется и направляется педагогом, а учащийся находится преимущественно в позиции объекта педагогического влияния. Для воздействия на учащегося как на объект нравственного воспитания педагог использует внешние регуляторы нравственного поведения – приучает к социальному поведению, ограничивает свободу, стыдит за провинность, пропагандирует нравственные правила поведения, приводит в пример товарища и другие. Такое воздействие необходимо, но недостаточно для формирования учащегося как субъекта нравственной активности. Для его обеспечения педагоги должны создавать условия для вовлечения в воспитательный процесс самого учащегося посредством повышения уровня его субъектности – активизации работы над собой, увеличения степени свободы и самостоятельности в определении своего поведения и выборе ценностных ориентаций т.д. Создание таких условий способствует «перемещению» учащегося с позиции объекта воспитательного воздействия со стороны педагога на позицию субъекта, активно взаимодействующего с педагогом. Наиболее полно позицию субъекта нравственного воспитания учащийся демонстрирует, осуществляя нравственное самовоспитание. Подростковый и младший юношеский возраст являются сензитивными для освоения приемов самовоспитания. В образовательном учебном заведении МО РФ должны создаваться условия для нравственного самовоспитания учащихся и его поэтапной целенаправленной интеграции с их нравственным воспитанием.

Назовем генерализированные психолого-педагогические требования к нравственному воспитанию учащихся.

1. Нравственное воспитание учащихся как будущих государственных служащих (военнослужащих) должно быть конкретным, направленным на качественное выполнение социального заказа по формированию и развитию у них определенных нравственных качеств, поэтому важной педагогической задачей нравственного воспитания учащихся общеобразовательного учебного заведения МО РФ является определение конкретной совокупности тех нравственных качеств, которые необходимо формировать у учащихся.

2. Образовательные учебные заведения МО РФ являются учреждениями интернатского типа. Учащиеся обучаются и проживают в училище круглые сутки. Увольнение к родителям и родственникам им предоставляется в субботу и воскресенье, а по окончании каждой учебной четверти – каникулярный отпуск. Жизнедеятельность в таком временном режиме обуславливает особую роль первичного коллектива учащихся в организации их воспитания и обучения. Известно, что воздействие группы сверстников на социализацию подростков и юношей происходит посредством определенных психологических механизмов – научения, подражания, заражения, идентификация. В условиях образовательного учреждения интер-

натского типа эти психологические механизмы функционируют с повышенной интенсивностью, подтверждают социометрические исследования. Уже к 6–8 месяцам своего существования первичный коллектив учащихся (взвод) начинает функционировать как субъект воспитания, где действует общественное мнение, начинают складываться традиции коллективной жизни. Первичные же коллективы в массовой средней школе (классы) в своем большинстве не часто достигают такого уровня в своем развитии. Следовательно, создание условий, обеспечивающих эффективное использование воспитательного потенциала первичного коллектива в ходе нравственного воспитания учащихся, является одним из основных психолого-педагогических требований к его организации. На важную роль первичного коллектива в нравственном воспитании подростков и юношей обращено в работах целого ряда отечественных педагогов. С позиций системно-антропологического подхода именно первичный коллектив учащихся должен рассматриваться как та социальная структура, где прежде всего и создаются условия для интеграции компонентов и функций нравственного воспитания.

3. Эффективность нравственного воспитания учащихся во многом определяется личностью педагога, его культурой, гражданской и нравственной позицией. Это подтверждается исследованиями отечественных педагогов. Состав педагогического коллектива общеобразовательного учебного заведения МО РФ качественно отличается от педагогического коллектива массовой школы. Как правило, более пятидесяти процентов педагогов учебного заведения – бывшие или действующие офицеры, имеющие богатый служебный опыт. Постоянное общение подростка с офицерами-воспитателями играет важную роль в формировании у него интереса к армии, военному делу, обеспечивает формирование у него военно-профессиональной направленности. Следовательно, тщательный подбор непосредственных организаторов нравственного воспитания по деловым и нравственным качествам является одним из важнейших психолого-педагогических требований к нравственному воспитанию учащихся. Реализация данного психолого-педагогического требования к нравственному воспитанию учащихся актуализирует задачу повышения уровня профессионально-педагогической компетентности организаторов нравственного воспитания – офицеров-воспитателей, учителей-предметников, педагогов-организаторов, социальных педагогов, психологов, педагогов дополнительного образования. Анализ работ, посвященных исследованию профессиональной компетентности педагогов, позволяет дать следующее определение профессионально-педагогической компетентности организаторов нравственного воспитания. *Профессионально-педагогическая компетентность организаторов нравственного воспитания* – это интегрированная характеристика, отражающая их способность успешно решать задачи нравственного воспитания учащихся. В структуре профессионально-педагогической компетентности организаторов нравственного воспитания можно выделить гносеологический, праксеологический и аксиологический компоненты. Содержание компонентов составляют:

а) *гносеологического* – знания, которыми должны обладать организаторы нравственного воспитания для того, чтобы эффективно решать воспитательные задачи;

б) *праксеологического* – аналитические, прогностические, проектные, рефлексивные, организаторские, коммуникативные умения и навыки, позволяющие им на высоком уровне осуществлять нравственное воспитание;

в) *аксиологического* – гуманитарная культура и военно-профессиональная направленность, содержащие систему ценностей, на которую они ориентируются в личностном и военно-профессиональном отношении.

Таковы основные психолого-педагогические требования к нравственному воспитанию учащихся общеобразовательных учебных заведений МО РФ, базирующиеся на системно-антропологическом подходе.

О.В. Гугорович,  
кандидат философских наук

## ФЕНОМЕН СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ: ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Статья посвящена этическим проблемам развития феномена «техника». В ней анализируются основные этические позиции относительно оценки техники и ее развития в современной цивилизации. В статье обращается внимание на то, что влияние технической деятельности на общество становится глобальным, а проблемы, возникающие в связи с использованием техники, перестают быть узкопрофессиональным делом, они становятся предметом всеобщего обсуждения, а иногда и осуждения.

Ключевые слова: техника, этическая оценка, технический прогресс, технофобия, технократизм.

XX столетие ознаменовалось бурными событиями в жизни человеческого общества. Об этом свидетельствуют глубокие сдвиги в экономических, политических, общественных структурах, периодически меняющиеся устоявшийся, казалось бы, порядок вещей, вызывающие бурный, непредсказуемый ход событий. В основе этих движений – научно-технический прогресс, темпы которого непрерывно ускоряются.

Уже в XX век Европа вступила с огромным количеством новейших сведений о мире. Были разрушены представления о неделимости атома. Открытие рентгеновского излучения (1895) позволило англичанам Эрнесту Резерфорду и Фредерику Содди обосновать теоретическое положение о том, что распад атомов обеспечивает превращение одних элементов в другие (1903). Английский физик Джозеф Томсон, открывший электрон (1897), создает первую его модель (1903). Немецкий физик Макс Планк предлагает теорию квантов, согласно которой физические процессы, например испускание и поглощение света, не являются непрерывным процессом. Альберт Эйнштейн выдвигает сразу две теории: одна касается представления о корпускулярной и одновременно волновой природе света, другая – знаменитая теория относительности, разрушает веру в независимость пространства и времени (1905). Только этих открытий хватило бы для того, чтобы считать XX век веком грандиозных научных революций, но практически одна за другой следуют новые: создание квантовой механики – Луи де Бройль, Э. Шредингер, П. Дирак, В. Гейзенберг; углубление представлений о микромире – открытие нейтрона Дж. Чедвиком, работы супругов Жолио-Кюри; развитие генетики, изучение человеческой психики и появление психологии – К. Юнг, У. Джемс, З. Фрейд. С уверенностью можно утверждать, что не осталось ни одной научной сферы, не затронутой разумом человека.

И еще одно обстоятельство отличает XX век от всех предыдущих. Крупные открытия прошлого редко были связаны с развитием техники. Они существовали вполне автономно даже тогда, когда опережали прогресс техники. В XX веке, особенно в его второй половине, наука стала сильным фактором развития техники, техника – наукоемкой, и обе обусловили дальнейший прогресс производства. Появляются атомная энергетика, генная инженерия, начинается освоение космического пространства. Все это заставляет не без оснований называть XX век веком техники, проникающей во все сферы человеческого существования, затрагивающей все формы жизнедеятельности человека.

Масштабность и чрезвычайно мощный потенциал научных открытий и техники привели к радикальному переосмыслению мира человеком, следствием чего явилась попытка описать природу и ее историю, положив в основу человеческий разум. Кроме того, развитие науки и техники заставило внимательно к ним присмотреться, в результате чего возникли совершенно новые дисциплины: науковедение, история естествознания и техники, социология науки и техники, философия науки и техники, инженерная психология и др. Усилиями этих наук разработан целый комплекс проблем.

Прежде всего это проблема общей оценки феномена техники в развитии современной цивилизации. Появление такой проблемы не случайно. В связи с тем, что влияние инженерной деятельности на общество становится глобальным, ее решения перестают быть узкопрофессиональным делом, они становятся предметом всеобщего обсуждения, а иногда и осуждения. При этом никакие ссылки на экономическую, техническую и даже государственную целесообразность не могут оправдать социального, морального, психологического, экологического ущерба, который может быть следствием реализации некоторых проектов. Их открытое обсуждение, разъяснение достоинств и недостатков, конструктивная и объективная критика в широкой печати, социальная экспертиза, выдвижение альтернативных проектов и планов становятся важнейшим атрибутом современной жизни.

Следует заметить, что в оценке феномена техники существует множество подходов. Так, согласно *натуралистическому* подходу, человеку в отличие от животных недостает специализированных органов, поэтому он вынужден компенсировать свои недостатки созданием артефактов. Так, с точки зрения одного из глубоких мыслителей в области философии техники Э. Каппа, «человек не удовлетворен тем, что ему предоставила природа. Он “реформирует” окружение в угоду своей сущности, словно природа, создавая его, не все предусмотрела, полагаясь на его самотворчество: “доделаешь сам”, проецируя свое видение вовне» [1]. То есть, по своей природе человек вынужден производить технические артефакты для того, чтобы освободить себя от давления со стороны враждебных сил природы.

С позиции *волевой интерпретации техники* свою волю к власти человек реализует посредством создания артефактов и технологических цепей. Это отражается на индивидуальном и национальном, классовом и государственном уровнях. Техника используется господствующими в обществе силами, и, следовательно, она не является нейтральной в политическом и идеологическом отношении.

С точки зрения *естественнонаучного подхода техника* рассматривается как прикладная наука. Жесткие логико-математические идеалы естественнонаучного подхода смягчаются в *рациональном подходе*, где техника предстает как сознательно регулируемая деятельность человека. В рамках данного подхода рациональность рассматривается как высший тип организации технической деятельности. Более того, в случае ее дополнения гуманистическими составляющими она отождествляется с целесообразностью и планомерностью. Это означает, что в научное понимание рациональности вносятся коррективы социокультурного порядка. Их развитие приводит к этическим аспектам технической деятельности, которые заслуживают особого внимания, прежде всего со стороны философии техники.

В результате повышенного интереса к данной проблематике во второй половине XX века сформировались основные этические позиции относительно оценки техники. В соответствии с классификацией К. Ясперса, видного представителя немецкого экзистенциализма, выделяют оптимистическую, пессимистическую и нейтральную позиции [2].

Оптимистическая оценка развития техники резюмирована в различных вариантах концепции технократизма, основателем которой является американский исследователь Т. Веблен. Его исходный тезис можно сформулировать следующим образом: техника сама способна нейтрализовать или преодолеть те негативные последствия, которые несет человечеству ее развитие и распространение. То есть технические системы создают средства и предпосылки постепенной гармонизации жизни и процессов в обществе. Для такой оценки, безусловно, есть основания. Действительно, мы видим, как прогресс техники дает возможность преодолевать смертельные ранее болезни, уменьшать остроту экологического кризиса, решать конфликтные ситуации в обществе, обеспечивать динамическое состояние общественной инфраструктуры.

Своего рода гимн техническому развитию поет в своей концепции «постиндустриального развития общества» ученый-футуролог Д. Белл. Рисуя себе грядущее постиндустриальное общество, возникающее на базе компьютерных технологий и телекоммуникаций, он обращает внимание на последствия, которые мы вправе ожидать от развития технической цивилиза-

ции: главенство теоретического знания, наличие интеллектуальной технологии, рост численности носителей знания, переход от производства товаров к производству услуг, изменения в характере труда и т. д. Более того, Д. Белл убежден, что в развертывании технического прогресса скрыты сами резервы гуманизации техники, что обеспечит в итоге гармонию техники с миром человека.

Заметим, что на изначально положительный характер техники «как момента труда и хозяйства» обращал внимание еще С.Н. Булгаков. Признавая, что в каких-то своих проявлениях техника может развиваться не должным образом, он говорит о технологии как о «способности проектирования и моделирования», «системе объективных действий», «совокупности всевозможных способов воздействия человека на природу в определенных, наперед намеченных целях» [3].

Но общественность беспокоит то, что за каждым новым поворотом в научно-техническом развитии возникают новые опасности, причем масштаб их угрозы возрастает, и заранее неизвестно, чем должно будет расплачиваться человечество за очередную техническую выдумку. Следует помнить, что на развитие техники влияет и социальный эгоизм, когда в погоне за техническими новинками чаще всего не учитывают их обратного негативного воздействия на человека. Кроме того, в социально-политическом аспекте человечество не застраховано ни от авантюристических шагов некоторых политиков, ни от восторга от использования ядерного оружия преступниками. Согласно мнению Т. Адорно, представителя франкфуртской школы философии техники, противоречие между общественным и техническим разумом нельзя игнорировать, от него невозможно просто отрешиваться, его необходимо предметно решать. В конечном счете вопрос о том, пользу или вред принесет современная техника человечеству, зависит «не от техников и даже не от самой техники, а от того, как она используется обществом» [4].

Наконец, развитие техники ведет и к существенному ее проникновению в психологические сферы человеческой жизни. Здесь возникают оговорки нравственного и гуманистического характера: не приведет ли это развитие к тотальному контролю над обществом со стороны информационно-полицейских служб? К тотальному контролю над мыслью человека?

Об угрозе, исходящей со стороны развивающейся техники для европейской культуры, пишет Х. Ортега-и-Гассет, один из первых профессиональных философов, обратившихся к проблематике философии техники. Он утверждает, что «усовершенствование техники ведет к возникновению уникальной современной проблемы: отмиранию и иссяканию способности человека воображать и желать. В наши дни, имея в своем распоряжении общий метод создания технических средств для реализации любого запроецированного идеала, люди теряют всякую способность желать ту или иную цель и стремиться к ней. А быть техником и только техником означает способность быть всем, а следовательно, быть ничем» [5]. Жить исключительно верой в технику нельзя, ибо жизнь становится бессодержательной и пустой. С точки зрения философа, машина существенно меняет отношения между человеком и орудием: «работает» машина, человек ее обслуживает, в результате наблюдается превращение человека в придаток машины. Побочным же явлением этого процесса становятся «кризис желаний» и бездуховность.

В свою очередь, М. Хайдеггер, под влиянием работ которого философия техники оформилась в самостоятельное направление, отвергает традиционные ответы, которые сводятся к тому, что техника является нейтральным средством в руках человека или человеческой активности. Он показывает, что техника не просто конструирует «технический мир», в котором она победоносна и универсальна. Она подчиняет своему диктату едва ли не все пространство бытия. Присущая ей логика проникает в социальное и человеческое измерение истории. Ее инструментальный разум поражает всё сознание эпохи.

Анализируя взаимодействие техники и общества, М. Хайдеггер обращает внимание на то, что непродуманное развитие техники, успехи технического прогресса обычно оборачиваются сложными социальными проблемами. Так, например, внедрение технических новаций на производстве в погоне за повышением производительности труда обостряет проблемы заня-

тости и безработицы; жилищный комфорт приводит к нежелательной разобщенности людей; достигнутая с помощью личного транспорта мобильность покупается ценой шумовой нагрузки, неуютных, обезличенных городов, загубленной природы и т. д.

Рассматривая технику как антропологическую проблему, М. Хайдеггер обосновывает точку зрения, в соответствии с которой «...опасность техники для человека заключается, прежде всего, не в уничтожении существования человека, а в преобразовании его сущности» [6]. Усовершенствуя технику, человек сам подпадает под ее власть. И чем точнее, чем совершеннее технические средства, тем больше в них нуждается и подчиняет им свое существование человек, что, в свою очередь, ограничивает его свободу и достоинства.

Современная техника достигла такого уровня развития, обрела столь мощное влияние в мире, что можно констатировать определенную самостоятельность техники, способность действовать, направлять развитие общества, формировать мировоззрение. Сейчас уже трудно понять: техника служит человеку, или человек – технике. В этой ситуации вряд ли можно говорить о моральной нейтральности научной и технической деятельности, нельзя пренебрегать этическим контекстом деятельности инженера или дизайнера. Проектировщик в современном мире должен осознавать свою ответственность перед человеческой цивилизацией.

Отметим, что проблемы негативных социальных последствий техники, проблемы этического самоопределения инженера возникли с самого момента появления инженерной профессии. Леонардо да Винчи, например, был обеспокоен возможным нежелательным характером своего изобретения и не захотел предать гласности идею аппарата подводного плавания – «из-за злой природы человека, который мог бы использовать его для совершения убийств на дне морском путем потопления судов вместе со всем экипажем» [7].

Еще ранее – в XV столетии – люди уже были озабочены тем, какие социальные проблемы принесет с собой новая техника. Например, в акте Кельнского городского совета (1412) было записано следующее: «К нам явился Вальтер Кезингер, предлагавший построить колесо для прядения и кручения шелка. Но посоветовавшись и подумавши? совет нашел, что многие в нашем городе, которые кормятся этим ремеслом, погибнут тогда. Поэтому было постановлено, что не надо строить и ставить колесо ни теперь, ни когда-либо впоследствии» [8].

Конечно, подобные решения тормозили технический и экономический прогресс, приходили в противоречие с требованиями нарождающейся рыночной экономической системы. Однако сегодня человечество находится в принципиально новой ситуации, когда невнимание к проблемам последствий внедрения новой техники и технологии может привести к необратимым негативным результатам для всей цивилизации и земной биосферы.

Прав профессор В.И. Березовский, утверждающий, что «технический прогресс противостоит человеку – его творцу и оказывает на него обратное воздействие. Человек творит технический прогресс. Технический прогресс творит человека... Возникнув как средство разрешения противоречий между человеком и природой и человеком и человеком, технический прогресс приобретает относительную самостоятельность и начинает оказывать обратное воздействие на человека и, в определенной степени, подчиняет его своим законам» [9].

Пессимистическое направление оценки техники, представленное такими философами, как Н. Бердяев, М. Хейдеггер, К. Ясперс, М. Мэмфорд и другими, получило название технофобии, что означает «ужас перед техникой». Н. Бердяев, например, констатируя, что техника глубоко включена в социокультурный процесс, останавливает наше внимание на любопытном парадоксе: без техники невозможна культура, с ней связано само возникновение культуры. Техника расширяет возможности человека в господстве над природой и неизбежно влечет за собой культурные и социальные изменения. В основе этих изменений лежат процессы культурного освоения обществом новых достижений техники и адаптации социальной среды к порождаемым новой техникой видам деятельности человека. В то же время «окончательная победа техники в культуре, вступление в техническую эпоху влечет культуру к гибели» [10].

В свою очередь, М. Мэмфорд главную причину всех социальных зол и потрясений видел в возрастающем разрыве между уровнем технологии и нравственностью. Научно-технический

прогресс, совершенный со времен Г. Галилея и Ф. Бэкона, он назвал «интеллектуальным империализмом», «жертвой» которого пали гуманизм, социальная справедливость.

По сути, сторонники данного подхода утверждают, что развитие науки и техники нивелирует культурный и духовный прогресс человечества, в результате чего формируется хищническо-утилитарное мировоззрение индивидуума и по отношению к природе, и по отношению к самому себе. Такая ситуация влечет за собой возможное самоуничтожение человеческой цивилизации по причине невзвешенного использования новейших научных открытий в интересах отдельных групп населения. По мнению В. Гейзенберга, «впечатляющие достижения научно-технической революции, особенно в развитых странах, являются всего лишь средством сделать ад более комфортным для проживания, поскольку техника и наука решают проблемы, которые сами же и создают» [11].

Представителями данного направления делается вывод о бесполезности ожидания добра от развития науки и техники. Подобное развитие не приведет ни к чему другому, кроме преобразования самого человека в элемент технических устройств. Человек уже отлучен от натуральных форм и проявлений жизни, от природы, а в дальнейшем эта тенденция станет господствующей. Техника не сделает человека ни умнее, ни счастливее, а скорее еще более незащищенным, беспомощным, неспособным противостоять жизненным невзгодам. Планета Земля постепенно станет непригодной для жизни, и, следовательно, желание человека достичь благополучия с помощью техники приведет к ее вырождению.

Как отмечает В.И. Березовский, «сегодня удивительным образом совмещается несовместимое – естественнонаучная рациональность отдельных исследований и разработок новой техники и общественно-стихийная иррациональность конечных результатов технического прогресса. Получается рациональная иррациональность. Контролируемость и направленность каждого отдельного исследования и внедрения благополучно сосуществуют с бесконтрольностью и неуправляемостью всем техническим прогрессом. Созидательность и конструктивность для корпорации, нации уживается с разрушительностью и деструктивностью для человечества. Мы похожи на человека, который, чтобы согреться, поджигает свой дом, или, согласно древнему китайскому преданию, на змею, пожирающую самое себя» [12]. Все это, по словам К. Маркса, «нелепость в пределах здравого смысла», а точнее – здравый смысл в пределах нелепости.

Наконец, нейтральную оценку научно-технического развития можно передать словами К. Ясперса: «Одно, во всяком случае, очевидно: техника – только средство, сама по себе она не является ни хорошей, ни плохой. Все зависит от того, что из нее сделает человек, чему она будет служить, в какие условия человек ее поставит». «Поскольку техника сама не ставит перед собой никакой цели, она находится по ту сторону добра и зла или предшествует им» [13]. Эта оценка тоже имеет свое оправдание и свои основания. Но она умаляет значение исходящей связи техники с глубинными основами человеческого бытия.

В оценке техники как нейтральной скрыта опасная аксиома, суть которой в том, что следует не столько совершенствовать технику в направлении уменьшения или нейтрализации ее негативных функциональных проявлений, сколько определенным образом воспитывать и дисциплинировать тех, кто работает с техникой. Не отвергая значение последнего, еще раз сделаем акцент на том, что нельзя искусственно отрывать технику от ее интеллектуального и психологического обеспечения. Учитывая предыдущие рассуждения, нельзя не признать справедливость слов Ф. Раппа: «Амбивалентность (наличие противоположных значений) техники нельзя устранить. Техника служит для облегчения и освобождения, но также создает новые ограничения, обременения и приобщения, считается гарантом человеческого развития и социального прогресса, однако она вызывает также бесчеловечные и разрушительные последствия» [14].

В технике очень выразительно проявляется драматизм человеческого положения в мире: с одной стороны, мы не можем существовать без техники, с другой стороны, нам не дано totally раствориться в ней. Мы не можем существовать, не вмешиваясь в самодостаточный

ход природных процессов, но это вмешательство может стоить нам нашего существования и даже существования нашей планеты.

Подводя итог выше сказанному, отметим, что решающую роль в актуализации проблем этической оценки феномена техники сыграли возросшая технологическая мощь и, как это ни парадоксально, негативные последствия ее развития. В своем существенном влиянии на все сферы жизни человека техника породила множество новых ситуаций, сместила акценты в наших представлениях о нравственных ценностях, которые ввиду интенсивного технического развития постоянно оказываются устаревшими, натянутыми и искаженными. Техника, как важное средство в разрешении жизненных проблем, стала могущественной силой, которая угрожает и духовной сущности человека, и природному миру.

Тенденция масштабных негативных последствий технической деятельности, конфликты в выборе целей и средств развития современной цивилизации нашли свое осмысление в философии техники, которая обратилась к морально-нравственной ее оценке сквозь призму таких понятий, как «благо», «зло», «ответственность», тем самым поставив вопрос о ценностной природе данного феномена. Однако этические проблемы техники, активно обсуждающиеся в исследовательской литературе по философии техники, не представлены на данный момент в методологическом единстве. К тому же такая теоретическая ситуация в целом отразилась на статусе этических проблем техники, которые, несмотря на признание со стороны исследователей их важности и актуальности, все же продолжают занимать «скромное» положение в рамках данной дисциплины.

### Список используемых источников

1. Эрнст Капп как основатель философии техники. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2009/fvti/khimka/library/article4.html> (дата обращения: 15.02.2014).
2. Ясперс К. Смысл и назначение истории. – М., 1991. – С. 130–131.
3. Булгаков С.Н. Философия хозяйства. – М., 1990. – С. 88.
4. Адорно Т. О технике и гуманизме // Философия техники в ФРГ. – М., 1989. – С. 367.
5. Ортега-и-Гассет Х. Размышления о технике // Вопросы философии. – 1993. – № 3. – С. 58.
6. Хайдеггер М. Семинар в Ле Торе // Вопросы философии. – 1993. – № 1. – С. 143.
7. Горохов В.Г., Розов М.А., Степин В.С. Философия науки и техники. – М.: Изд-во Гардарики, 1999. – С. 240.
8. Социальная история средневековья. – М.-Л., 1927. – Т. 2. – С. 371.
9. Березовский В.И. Материалистическое понимание истории и технический прогресс. – Иркутск: РИУ ИГУ, 2006. – С. 8, 14.
10. Бердяев Н.А. Человек и машина (проблема социологии и метафизики). – М., 1989. – С. 49.
11. Гейзенберг В. Избранные труды / пер. с нем. Ю.А. Данилова и А.А. Сазыкина. – М.: УРСС, 2001. – С. 35.
12. Березовский В.И. Материалистическое понимание истории и технический прогресс. – Иркутск: РИУ ИГУ, 2006. – С. 16.
13. Ясперс К. Смысл и назначение истории. – М., 1991. – С. 140, 134.
14. Рапп Ф. Перспективы философии техники // Философия техники в ФРГ. – М., 1989. – С. 88.

О.А. Курбатов,  
*кандидат исторических наук*

## РЕЛИГИОЗНО-НРАВСТВЕННОЕ ВОСПИТАНИЕ В РУССКОЙ АРМИИ В КОНЦЕ XIX – НАЧАЛЕ XX ВЕКОВ

Статья посвящена рассмотрению религиозно-нравственного воспитания в русской армии в конце XIX – начале XX вв. В ней раскрывается деятельность военного духовенства. Начавшаяся в 1904 году Русско-японская война стала проверкой того, насколько военные пастыри справились с решением задачи религиозно-нравственного воспитания личного состава. Можно сказать, что война воспитала военных священников «нового типа», умевших не только «утешать» в тылу, но и воодушевлять воинов непосредственно на поле боя.

Ключевые слова: военное духовенство, религиозно-нравственное воспитание, военное ведомство, полковые священники, протопресвитер, церковь, воспитание.

Давно известно, что военно-исторические факты «генетически тесно связаны с социальной действительностью, определяются экономическими условиями и общественно-политическими целями, включают существенные элементы духовной жизни общества, его идеологии, науки, культуры и т. п.» [1]. Именно по этой причине невозможно рассматривать проблему религиозно-нравственного воспитания православных военных начала XX столетия вне социального контекста эпохи и без учета того обстоятельства, что солдатское большинство русской армии составляли выходцы из деревни. Религиозно-нравственное воспитание бывших крестьян, по нашему мнению, и было главной задачей армейских священников, часто выступавших не только в роли пастырей, но и в роли учителей грамотности.

Впрочем, для успешного решения поставленных задач было важно не только понимание специфики армейского «контингента», но также и упорядочение службы самих военных клириков. С целью подобного упорядочения в 1890 году и было принято новое Положение об управлении церквами и духовенством армии и флота. Положение централизовало управление военным духовенством, во главе которого был поставлен протопресвитер, избиравшийся Священным Синодом и утверждавшийся императором. При протопресвитере учреждалось духовное правление. Но главное заключалось в том, что в Положении впервые был четко очерчен круг «окормительских» обязанностей военных клириков. Акцент делался на катехизации: священники обязывались преподавать Закон Божий в полковых школах, обучать грамоте детей нижних чинов, вести богослужебные беседы и т. п. [2]. Таким образом, священник в армии рассматривался, прежде всего, как педагог, обязанный помогать командиру в деле нравственной подготовки военнослужащих. Задачи военных священников были конкретизированы в особом циркуляре протопресвитера русской армии и флота А.А. Желобовского. Циркуляр определял средства религиозно-нравственного воспитания военнослужащих, среди которых традиционно отмечал проповедь [3].

Военные священники прекрасно понимали, что солдатский контингент, с которым им предстояло проводить религиозно-нравственную работу, чрезвычайно сложен. Низкая степень «умственного и религиозно-нравственного развития» православных новобранцев была для них исторической данностью. «В некоторых местах почти 70 % из поступающих в полк не только не знают молитв, но и не имеют ни малейшего представления о религиозных началах», – отмечал, например, священник лейб-гвардии Конного полка Ф. Ласкеев, видевший в этом обстоятельстве большую проблему [4]. Для военного духовенства решение морально-нравственных вопросов могло вестись только одним путем: через «усиление религиозного чувства» православных по рождению воинов. Это предполагало, прежде всего, активизацию (в силу имевшихся в военно-духовном ведомстве средств) храмового строительства. Так, с

1888 по 1900 гг. было построено более 60 новых военных церквей, большую часть которых лично освятил протопресвитер А.А. Желобовский [5]. Посильную помощь в деле строительства храмов оказывал Желобовскому и тогдашний военный министр генерал А.Н. Куропаткин (к примеру, он многократно ходатайствовал перед императором о выделении средств на строительство военных храмов) [6]. Протопресвитер ежегодно устраивал также нечто похожее на сборы военного духовенства. На этих встречах пастыри обменивались опытом, анализируя религиозно-нравственное состояние войск и свою собственную армейскую деятельность [7]. Примечательно, что клирики не забывали и такой фактор, как «иноверческое окружение» православных по конфессиональной принадлежности воинов, справедливо полагая, что религиозная стойкость (или «стойкость в вере») есть необходимое условие общей подготовки личного состава.

23 января 1900 года при Главном штабе под председательством генерала графа И.Д. Татищева была учреждена особая комиссия, занимавшаяся рассмотрением вопросов религиозно-нравственного воспитания войск. Для участия в работе комиссии был приглашен и протопресвитер А.А. Желобовский. Специальное рассмотрение вопроса религиозно-нравственного воспитания – сам по себе факт уникальный. Вплоть до начала XX столетия ни военное ведомство, ни Православная Церковь не считали необходимым его актуализировать. XIX столетие не знало видимых противоречий между православными «формой» и «содержанием» – XX столетие это противоречие увидело. Именно поэтому, как нам кажется, вопросы укрепления веры и нравственности среди нижних чинов стали обсуждаться в военном ведомстве наравне с вопросами боевой подготовки. Собственно говоря, работа комиссии – уже свидетельство относительного неблагополучия нравственно-психологической обстановки в войсках, которых на тот момент еще не коснулась «революционная пропаганда».

Что же предусматривалось исправить и воссоздать? По большому счету ничего нового предложено не было. Как всегда заявлялось об организации в войсках внебогослужебных часовых собеседований (по одному разу в неделю). Целью их было ознакомление нижних чинов с Законом Божиим. Солдаты («со своими учителями», т. е. офицерами) должны были регулярно (по праздничным и воскресным дням) посещать богослужения. Иноверцы также не забывались: армейское начальство обязывалось содействовать им в исполнении их религиозных обрядов (при необходимости в войска могли командироваться «иноверческие священнослужители»). Примечательно, что «посторонние прихожане» в военных храмах могли присутствовать на богослужении только тогда, когда это допускалось площадями храма: в небольшой церкви приоритет полностью принадлежал воинам. Младшие офицеры должны были наблюдать и за тем, как себя ведут в храме нижние чины, должны были препятствовать их самовольному уходу до окончания службы. Появление такого решения весьма симптоматично: можно предположить, что к 1900 году у армейского начальства (и у военных священников) уже имелся горький опыт общения с нерадивыми «христоробивыми воинами», явно не воспитанными в мистических формах православного культа. Для проведения такого воспитания планировалось постепенное внедрение в среду нижних чинов традиций хорового церковного пения. Требовалось добиться и соблюдения солдатами православных постов (по крайней мере – Великого поста). Командирам разрешалось выписывать «на хозяйственные суммы» (сверх установленных сметой) книги для чтения для нижних чинов. Комиссия предусматривала усиление религиозно-нравственного начала и в школах солдатских детей. Все эти действия могли иметь хоть сколько-нибудь позитивный результат лишь в случае ответственного воспитания самих «воспитателей», т. е. офицеров. По этой причине комиссия обращала внимание и на усиление религиозно-нравственного воспитания юнкеров и кадетов военно-учебных заведений [8]. 28 апреля 1901 года Николай II утвердил составленное на основании работ Особой комиссии руководство «в виде опыта» на три года, так как его введение не предусматривало дополнительных расходов казны [9].

Проведение в жизнь положений руководства, разумеется, предполагало и усиление роли военных священников, оказывавшихся не только *de facto*, но и *de jure* первыми помощника-

ми офицеров. Другое дело – насколько они могли (и могли ли) повлиять на изменение в лучшую для государства сторону процесса религиозно-нравственного воспитания нижних чинов.

Стремясь разрешить стоявшие перед армией религиозно-нравственные проблемы, ведомство военного протопресвитера обращало пристальное внимание на профессиональную подготовку военных клириков. Так, с 1899 года протопресвитер А.А. Желобовский своим циркуляром объявил, что на вакансии военных священников будут по преимуществу назначаться лица с высшим академическим образованием или же окончившие духовную семинарию по первому разряду. Служба военным священником в материальном отношении была более выгодна [10], чем служба на приходе, поэтому протопресвитер армии и флота имел возможность выбора кандидатов. Приходя в войска, эти кандидаты получали «практические навыки службы», так как никаких училищ или школ, в которых готовились бы военные священники, в России не существовало.

Система управления военным духовенством после реформы 1890 года выглядела таким образом. Протопресвитер русской армии и флота назначался по указу императора и с представления Священного Синода из белых (т. е. женатых) клириков. Ему подчинялось Духовное правление, состоявшее из присутствия и канцелярии. В присутствие входили 5 человек (они избирались протопресвитером из подведомственного ему духовенства; 3 человека считались «штатными», а 2 – «сверхштатными»). Канцелярия выглядела вполне традиционно: под наблюдением делопроизводителя находились столоначальник и регистратор. Протопресвитер управлял соборами и церквями своего ведомства (как «неподвижными», так и «подвижными», т. е. походными, переносимыми с места на место). Протопресвитеру подчинялись полковые священники, из числа которых избирался и дивизионный благочинный – непосредственный начальник полковых батюшек. Полковые священники, равно как и дивизионные благочинные, по месту расположения своей воинской части подчинялись также и местному епархиальному архиерею. Таким образом, епископ мог принимать участие в религиозной жизни квартировавших на его юрисдикционной территории воинов. Обычно архиерей ограничивал свое участие формальными актами: освящением полковых церквей и согласованием с протопресвитером русской армии и флота кандидатур полковых священников.

С богословской точки зрения, основная задача, которую должен был решать военный священник, сопрягалась с развитием у верующих воинов так называемых нравственных добродетелей. Наряду с проповедью военный священник призывал свою паству твердо следовать в земной службе религиозным правилам. В «окоормительской» деятельности военного священника условно можно выделить два компонента.

Первый, богослужебный, основывался на христианском учении о нравственности и включал в себя такие элементы, как разъяснение понятий о нравственном законе (долге); о свободном исполнении закона (о добродетели); о высшем благе (конечной цели бытия человека) с изложением обязанностей человека к Богу, ближнему и самому себе. Богослужебный компонент являлся доминирующим и составлял ядро религиозно-нравственного воспитания. Молитвенная практика, богослужения, молебны и крестные ходы, освящение построенных кораблей и зданий, изучение Закона Божия, чтение проповедей – все это можно считать проявлением этого самого «богослужебного компонента».

Вторым структурным слагаемым в системе религиозно-нравственного воспитания являлся так называемый внебогослужебный компонент. Военный священник в силу своего положения должен был исполнять не только пастырские обязанности, но и следить за морально-психологическим состоянием в войсках, быть своего рода нравственным примером для солдат и офицеров, представителем и даже идеологическим выразителем основных идей существовавшего политического режима (разумеется, в духе уваровской триады).

Обобщая, можно сказать, что реализация основных задач и основополагающих принципов религиозно-нравственного воспитания воинов России осуществлялась по следующим главным направлениям:

1. Религиозно-нравственное просвещение.
2. Формирование массовых и индивидуальных культурных ритуальных актов военно-духовного характера.
3. Борьба с нравственными пороками и искоренение «греховного» в поведении военно-служащих.
4. Активная благотворительная деятельность.
5. Духовно-боевая деятельность.

Высшее военное руководство, понимая всю сложность и важность вопроса религиозно-нравственного воспитания в деле укрепления боеспособности армии, на рубеже XIX и XX столетий много сделало для того, чтобы улучшить положение военного духовенства и повысить его социальный статус. Косвенным подтверждением этого можно считать записку, составленную в Военном министерстве при А.Н. Куропаткине, 14 ноября 1898 года и отправленную на имя протопресвитера военного и морского духовенства А.А. Желобовского. В ней отмечалось, что в военных храмах часто можно наблюдать следующую картину: лучшие места занимает «чистая» публика, следом за ней стоит простонародье («в особенности бабы и дети»), а уже за ними – нижние чины. Часто, не находя себе места в храмах, солдаты толпятся на папертях и вне церквей или же остаются в казармах. «Даже и офицеры зачастую не ходят в церковь по той же причине, – подчеркивалось в записке, – необходимости проталкиваться сквозь сплошную толпу посторонних лиц» [11]. Как мы знаем, этот вопрос на «ведомственном уровне» вскоре был разрешен. Впрочем, внимания заслуживает даже не это, а оперативность заинтересованных в деле лиц: 28 ноября 1898 года член духовного правления при протопресвитере военного и морского духовенства протоиерей Александр Соколов предоставил А.А. Желобовскому свою экспертную оценку и соответствующие предложения по затронутому в записке вопросу [12].

Известно, что все храмы, в которых армейским духовенством совершались богослужения, подразделялись на четыре вида:

- 1) постоянные военные церкви, построенные на казенные средства, для нужд войск;
- 2) военные церкви, построенные на частные пожертвования;
- 3) временные церковные наметы, палатки и т. п.;
- 4) церкви епархиального подчинения, предоставляемые лишь на время, на известных условиях, для богослужения военного духовенства.

Понятно, что в зависимости от «вида» храма последний имел те или иные возможности для проведения богослужений. Протоиерей А. Соколов заявлял, что храмы первой категории, как устраиваемые непосредственно для личного состава, уже при постройке должны быть сообразованы с численностью войск гарнизона, посещающих храм. В таких церквях первое место следует отводить войсковым частям, а затем уже все остающиеся – частной публике. Что касается размещения войсковых частей в храмах, построенных на частные средства, то здесь приходилось соглашаться с предоставлением лучших мест храмостроителям, их семьям и родственникам. Церкви-наметы, палатки и т. п. всецело предоставлялись войсковым частям по существу самого их устройства. Менее всего оказывались пригодными для войск предоставляемые военному духовенству епархиальные храмы. В них войсковому священнику нередко отводился лишь придел, а значит, лишь часть, как правило, худший угол церкви. Условием совершения богослужения было требование совершать его в заранее определенные часы. Более того, многие военные церкви в местах, где не имелось епархиальных храмов, заменяли собой церкви приходские, а военному священнослужителю приходилось соглашаться с преобладанием «штатских» прихожан (тем более что этими лицами по преимуществу и поддерживалось церковное «благолепие»). Содержание церквей и производство служб (на свечи, просфоры, церковное вино, ладан и пр.) казной не финансировалось, всё приобреталось на добровольные приношения светской публики. По этой причине предоставление войсковым частям в церкви лучших мест не всегда оказывалось возможным, а устранение частной публики – не всегда желательным.

Основные предложения протоиерея А. Соколова по упорядочению военно-церковной службы были сведены к следующему:

- 1) сократить размеры находящихся в церквях образов, а вместо стоячих подсвечников разместить настенные висячие паникадилы;
- 2) военному начальству по согласованию с местным церковным руководством определить постоянные места для размещения войск;
- 3) войсковым частям входить в храмы «стройно», занимать место рядами, предоставляя первые офицерам и их семействам;
- 4) православные нижние чины должны посещать храм в строгой очередности;
- 5) в праздничные дни церковные службы могут совершаться для войск в манежах, казармах или других соответствующих помещениях (по причине невозможности многочисленному личному составу поместиться в церкви).

Практическое применение прозвучавших предложений иногда оборачивалось курьезами. Регламентация православной жизни нижних чинов, проводимая посредством офицерских приказов, не столько помогала решению вопроса религиозно-нравственного воспитания войск, сколько еще более его усложняла. К примеру, командир 81-го пехотного Апшеронского полка ввел следующий порядок посещения церкви: нижние чины становились там в строевом порядке, с интервалами, имея на флангах подпрапорщиков и офицеров. «Команда: вперед, назад, вправо, влево, равняйся, смирно и пр. долго разносится в церкви, пока люди выстроятся и выровняются, – вспоминал вскоре после русско-японской войны один из дивизионных благочинных. – Во время стояния в церкви нижние чины не могут отлучиться с места для покупки свечей и прикладывания к иконам, а по окончании службы также лишены возможности соблюдения мер добрых обычаев; ибо, по окончании всенощной, должны спешить выстроиться во дворе для встречи начальства, а по окончании литургии, помимо приложения к кресту, должны проходить около своего командира полка или его заместителя и, поворачивая голову и постукивая ногами, смотреть на него (“съедать глазами начальство”, по выражению воинов), и, выйдя из церкви, строиться для принятия поздравления» [13].

Подобное «решение» проблемы оборачивалось своей противоположностью, заставляя даже «христоролюбивых» солдат задавать своим пастырям вопрос: «почему солдаты из магометан, евреев, армян, католиков и разных сект могут молиться свободно, а мы, русские, только из-под палки? Почему в церкви мы стоим приготовленные для встречи начальства, а не для молитвы и почему за нами в церкви должны наблюдать не наши духовные отцы, как у прочих народов, а подпрапорщики и гг. офицеры?» [14]. Как следствие, формализация церковной жизни часто приводила к разобщенности офицеров и нижних чинов, не объединявшихся общей для них верой. К тому же «камнем преткновения» мог послужить и так называемый кодекс офицерской чести, непременным атрибутом которого были дуэли, официально восстановленные в русской армии при Военном министре П.С. Ванновском в 1894 году Музыкальные и танцевальные вечера, проводившиеся в офицерских собраниях часто в дни постов, накануне воскресенья и церковных праздников, служили «соблазном» для нижних чинов, которых военный священник убеждал вести «чинную» христианскую жизнь.

«О постах и говорить нечего, – откровенно писал член духовного правления при протопресвитере русской армии и флота протоиерей И. Философов, – прямо предписывается варить в ротах мясную пищу в постные дни, кроме дней говения; жениться нижним чинам не позволяется, а посещать дома проституции не запрещается; вызов на дуэль, учит священник, есть грех против шестой заповеди Господней, а военное начальство разрешает таковые вызовы, кончающиеся нередко убийством. При такой обстановке дела могут ли пастырские наставления и беседы священника со своими пасомыми иметь надлежащее благотворное влияние на умы, сердца и волю воинских чинов?» [15].

Как видим, нарисованная военным священником в конце XIX столетия картина религиозно-нравственного состояния, имевшего место в русской армии, была весьма непростой. Но свидетельствует ли это о кризисе духовно-пастырской работы в войсках накануне русско-

японской войны? Полагаем, что такой вывод делать некорректно. Во-первых, показанные примеры свидетельствуют лишь о сложностях, с которыми приходилось сталкиваться всем, кто так или иначе занимался вопросом воспитания нижних чинов. Кризиса работы как таковой не было и быть не могло прежде всего потому, что она (эта работа) велась постоянно и с неослабевающей энергией. Во-вторых, военные священники, как и кадровые военные-офицеры, в тот период столкнулись с новыми «моральными» проблемами, вызывавшимися всем ходом российской (прежде всего экономической) жизни рубежа столетий. Разрушение старых устоев жизни неминуемо должно было сказаться (и сказалось) на религиозности «простого народа», воспитанного православной «формой» (так называемой «бытовой верой»), которая в новых условиях оказывалась несостоятельной. Ответ на новые вызовы приходилось искать, используя старые религиозные и политические лекала. Однако другого выхода, думается, тогда и не было.

Военное министерство и Духовное правление протопресвитера русской армии и флота, занимаясь глобальной проблемой религиозно-нравственного воспитания, решали множество частных вопросов. Если можно говорить о «стратегии», то именно такой подход военного ведомства и ведомства военного протопресвитера и был «стратегическим». Так, к примеру, в марте 1899 года под председательством Желобовского была учреждена особая комиссия для выработки упрощенного типа военной церкви, удобной для проведения богослужений в полевых условиях. Тогда же Военное министерство сообщило протопресвитеру о наличии особого плана постепенного возведения храмов, как в течение пятилетнего срока (1899–1903) действия в военном ведомстве предельного бюджета, так и в следующее затем пятилетие, с 1904 по 1908 год. [16].

В состав особой комиссии А.А. Желобовского вошли два члена Духовного правления (протоиереи Словцов и Филосовов), представители военного ведомства (генерал-майор Афанасьев и полковник Кутепов), военно-учебных заведений (протоиерей Преображенский) и полкового духовенства (священник Архангельский) [17]. Комиссия выбрала две основные архитектурные формы построения военно-церковных зданий:

1) в виде «корабля», то есть четырехугольного продолговатого здания, с отделением в нем необходимого места для алтаря и притвора;

2) в виде креста, когда к зданию-«кораблю» пристраивались боковые выступы.

Как видим, речь шла о формировании архитектурного «военного стиля», который бы соответствовал нуждам и запросам армейской среды. Таким образом, одновременно с рассмотрением вопроса о возведении новых военных храмов актуализировался и вопрос об их (храмов) архитектуре.

Однако более важным, чем вопрос о «военно-церковной» архитектуре, был вопрос об изыскании средств для постройки церквей при всех частях войск, в штате которых имелись занятые священнические вакансии. Военная церковь, хотя бы и «барачной» системы, должна была соответствовать одному неперемennomu условию: быть вместительной. Ведомство военного протопресвитера также полагало важным найти средства для введения священников в штаты тех армейских частей, в которых таковых не имелось (штаты не предусматривали священнических вакансий в артиллерийских бригадах, отдельных батальонах, казачьих полках и т. п.).

Одним из узловых вопросов в сфере религиозно-нравственного воспитания явился вопрос об упорядочении системы праздников в армии и на флоте. Этот вопрос был важен прежде всего потому, что любые праздники в армейских условиях естественным образом необходимо коррелировать с основной задачей, решавшейся войсками: боевой подготовкой. Впервые «праздничная тема» была затронута протопресвитером А.А. Желобовским в сентябре 1896 года. В его рапорте, отправленном в Священный Синод, содержалась информация о запросе, сделанном по этому поводу Главным штабом Военного министерства (речь шла о возможности устанавливать в частях войск годовые праздники в честь того или иного святого или священного события, а следовательно, их празднование приурочивать к произвольно-

му числу и месяцу года, сообразуясь с традициями конкретной части). Священный Синод поддержал инициативу [18].

Можно ли сказать, что проводимые мероприятия содействовали (хотя бы в некоторой степени) религиозно-нравственному воспитанию русской армии? Думается, так формулировать вопрос неправильно. Проводившаяся в конце XIX – начале XX столетий работа Военного министерства и протопресвитера русской армии вызывалась скорее осознанием недостаточной «идейной» подготовки приходящих в войска новобранцев [19], чем желанием пустить «пыль в глаза» и продемонстрировать необходимую активность. К слову сказать, проблема недостаточного религиозно-нравственного воспитания нижних чинов чувствовалась не только в центральной России, но и в войсках, расквартированных на окраинах, в том числе и на Дальнем Востоке. Не случайно командующий войсками Квантунской области генерал-адъютант Е.И. Алексеев в ежегодном отчете императору за 1902 год отмечал, что хотя солдатский состав по способностям к исполнению службы «хорош», в нравственном же отношении – вполне удовлетворен, но по сравнению с предшествующим периодом все-таки наблюдается рост числа самоубийств и осужденных за различные проступки. Генерал объяснял это тем, что в мирных условиях личный состав, участвовавший ранее в боевых действиях (подавлении Боксерского восстания в Китае), не мог быстро адаптироваться к условиям мирного времени [20]. В этом заявлении представляет интерес преимущественно постановка проблемы: нет и речи о неблагонадежности войск, но констатируется наличие негативного психологического фактора – прямой зависимости морально-нравственного состояния личного состава от его (состава) участия в боевых действиях. При этом стоит подчеркнуть, Е.И. Алексеев не писал о том, что религиозность войск падает, более того, он даже считал ее удовлетворительной. Насколько он был прав (или ошибался) оказалось возможным судить с началом русско-японской войны, в которой наряду с военными принимало активное участие и православное духовенство.

В то время, как уже неоднократно указывалось, во главе военно-духовного ведомства стоял протопресвитер Александр Алексеевич Желобовский (1834–1910). Сын псаломщика Новгородской епархии, Желобовский в 1859 году окончил Санкт-Петербургскую духовную академию, тогда же связав свою жизнь с армией. Утвержденный на пост протопресвитера русской армии и флота 8 июля 1890 года, отец Александр уже с 26 марта 1888 года являлся Главным священником гвардии и гренадер, армии и флота и фактически был просто «переназначен». Только благодаря своим личным способностям (в годы обучения Желобовский всегда был «лучшим из воспитанников»), он сумел подняться до административных вершин в военно-духовном ведомстве, управляя им в дальнейшем более 20 лет. Именно ему пришлось налаживать централизованное управление военным духовенством в относительно благоприятных (с военной точки зрения) условиях. Мирная обстановка позволила одновременно, словом «Положения» 1890 года, упразднить все управления Главных священников и объединить военное духовенство под единоличной властью протопресвитера. Тем самым в военно-духовном ведомстве восторжествовал принцип единоначалия и властной «вертикали». Однако А.А. Желобовский не имел опыта участия (в качестве священника) в боевых действиях, что не могло не сказаться на судьбе управляемого им ведомства в случае вступления России в войну. К тому же в начале XX столетия Желобовский был уже пожилым человеком. Все это необходимо учитывать, пытаясь установить роль протопресвитера в управлении военным духовенством в период начавшейся в 1904 году войны России с Японией (не случайно в 1904–1905 годы он ни разу не появился на дальневосточном театре военных действий). Он мог «помогать» своим подчиненным только инструктивными письмами и устными наставлениями, которые в условиях войны имели минимальную ценность.

Впрочем, важно отметить не это: Желобовский имел самое существенное влияние на назначения православных клириков в армию, следовательно, имел возможность опосредованного участия в кадровом подборе священнослужителей, отправлявшихся в армейские части Дальнего Востока. Следовательно, чтобы понять и оценить эффективность работы про-

топресвитера в годы русско-японской войны стоит внимательно рассмотреть, кто стоял на руководящих постах (по военно-духовной части) в действующей армии.

Вскоре после начала боевых действий на учрежденный еще в 1890 году пост Главного полевого священника действующей на Дальнем Востоке армии Священным Синодом (по представлению протопресвитера) был определен относительно молодой (1860 года рождения) протоиерей Сергей Алексеевич Голубев. К тому времени 44-летний клирик имел уже несколько церковных и светских наград: Синодальный наперсный крест, камилавку, скуфью, набедренник и серебряные медали (на Александровской ленте в память царствования Александра II и на Андреевской ленте в память коронационных торжеств 1896 года) [21]. С 23 октября 1895 года Голубев состоял сверхштатным членом Духовного правления при протопресвитере русской армии и флота, а с сентября 1902 года – уже председателем Духовного правления [22]. К сожалению, никаких данных, характеризующих совместную работу протоиерея Голубева и протопресвитера Желобовского, на сегодняшний день обнаружить не удалось. Однако можно предположить, что в начале XX столетия протоиерей был «правой рукой» престарелого протопресвитера (хотя как и он, отец Сергей «в походах и делах не был») [23].

В дальнейшем, когда стала комплектоваться Вторая маньчжурская армия, в октябре 1904 года был назначен и Главный ее священник [24]. Им стал член Духовного правления протоиерей Александр Петрович Журавский. Ровесник протоиерея Голубева (1858 года рождения), он, судя по послужному списку, не имел высшего богословского образования (в 1884 году по невыясненной причине будущий клирик был уволен со второго курса Московской духовной академии). Но это не оказало существенного влияния на его священническую «карьеру». Ко времени своего назначения Главным священником Второй маньчжурской армии протоиерей Журавский имел множество наград: набедренник, скуфью, камилавку, наперсный крест на Георгиевской ленте, орден св. Владимира с мечами, серебряную медаль в память царствования Александра III, знаки Красного Креста и Холмского православного Свято-Богородицкого братства 3-й степени [25]. Это назначение трудно не признать удачным: ведь отец Александр прекрасно знал регион и к тому же принимал участие в боевых действиях рубежа столетий – в подавлении Боксерского восстания. 7 июня 1900 года в маньчжурском поселке Харбин он был назначен настоятелем первой военной церкви. Журавский имел дело с ранеными солдатами (золотой наперсный крест на Георгиевской ленте он получил именно «за пастырское утешение раненых и умирающих воинов во время боя под Аже-хэ» 21 июля 1901 года [26]). Как знак благоволения вышестоящего начальства можно считать назначение (19 января 1904 года) Журавского благочинным госпитальных церквей Кавказского военного округа и клириком Николаевского Тифлисского военного собора, т. е. перевод на более спокойную (по тем временам) службу. Война, впрочем, достаточно быстро заставила отца Александра снова вернуться на Дальний Восток [27]. Совершенно очевидно, что военно-духовное ведомство испытывало острую нужду в клириках, имевших опыт участия в боевых действиях и понимавших моральное состояние участвовавших в таких же действиях солдат и офицеров. Видимо поэтому протоиерей Журавский оставался на своем посту вплоть до окончания боевых действий в апреле 1905 года («за расформированием Управления полевого Главного священника Второй маньчжурской армии).

Главным священником Третьей маньчжурской армии указом Священного Синода (всегда официально оформлявшего принятые в ведомстве военного протопресвитера решения) 12 ноября 1904 года был назначен 57-летний протоиерей Николай Каллистов. Его образовательный ценз был весьма невысок: он закончил Костромскую духовную семинарию всего лишь по II разряду. Каллистов связал свою жизнь с военно-духовной службой не сразу по принятии сана (в 1868 году), а только семь лет спустя. Причина, заставившая его перейти в разряд военных клириков, неизвестна, зато известно, что на этом поприще он достиг значительных успехов, в 1903 году получив назначение на должность директора Ковенского губернского попечительного комитета о тюрьмах и имея ряд церковных и светских наград (ка-

милавку, набедренник, наперсный крест, палицу, ордена св. Анны 2-й и 3-й степени и св. Владимира 2-й и 3-й степени) [28]. На своем посту Каллистов прослужил вплоть до окончания боевых действий весной 1905 года. Ничего о его службе в действующей армии на сегодняшний день не известно. Можно лишь предположить, что хотя Главный священник Третьей маньчжурской армии и не имел боевого опыта, никаких принципиальных ошибок в деле налаживания работы военного духовенства за период с ноября 1904 по апрель 1905 года он не совершил.

Сказанное заставляет задаться вопросом: насколько правомерно (при отсутствии источниковой базы) вообще говорить о каких-либо ошибках, совершенных Главными священниками армий на Дальнем Востоке в период Русско-японской войны 1904–1905 годов? Заявлять об этом как о доказанном факте, разумеется, у нас нет никаких возможностей. Но существует косвенное доказательство того, что какие-то ошибки все-таки совершались, или, точнее сказать: за какие-то недостатки в организации работы военных священников их руководители несли ответственность, хотя о наказании можно говорить лишь условно. Пример сказанному – перемещение Главного священника Первой маньчжурской армии протоиерея С. А. Голубева. Формально его повысили, 13 декабря 1904 года назначив Главным священником при Штабе Главнокомандующего сухопутными и морскими силами [29]. Однако, оказавшись при Штабе, протоиерей Голубев лишился реальных рычагов воздействия на военное духовенство, «упав вверх». Его, влиятельного деятеля военно-духовного ведомства, не имевшего опыта участия в боевых действиях, заменил «человек без связей» священник Георгий Иванович Шавельский, на тот момент молодой клирик. Именно благодаря Шавельскому мы можем судить о работе военного духовенства в годы русско-японской войны.

Г.И. Шавельский (1851–1951) родился в Витебской губернии в семье псаломщика («дьячка») и, как и А.А. Желобовский, сумел достичь высокого положения исключительно благодаря своим личным талантам. Блестящий студент духовных школ, Шавельский, уже вдовцом, со степенью кандидата богословия закончил Санкт-Петербургскую духовную академию (1902). Еще студентом отец Георгий получил назначение проповедником на Александровский машиностроительный завод и благочинным в имение Великого князя Дмитрия Константиновича в Стрельне. После окончания академии он получил назначение священником Суворовской церкви при Николаевской академии Генерального штаба, откуда, собственно, и попал на фронт. Шавельский был одним из первых священников-«добровольцев», сразу же после начала боевых действий выразивших желание пойти на фронт. «Мой пастырский и гражданский долг, – писал он в рапорте на имя протопресвитера А.А. Желобовского, – не позволяет мне оставаться на месте своего мирного служения, когда на Дальнем Востоке льется русская кровь, и когда там особенно потребна всякая духовная помощь». Рапорт был написан 28 января 1904 года и буквально сразу же утвержден [30].

Шавельского назначили священником в 33-й Восточно-Сибирский стрелковый полк, одновременно с этим возложив на него и обязанности благочинного 9-й Восточно-Сибирской стрелковой дивизии [31]. За время ведения боевых действий Шавельский сумел показать себя с самой лучшей стороны: и как смелый человек, и как умелый организатор работы военных священников. Он не боялся бывать на передовой, во время боя под Ляояном получив даже контузию газом и осколком бризантовой гранаты. Считая, что священник во время боя должен быть вместе с воевавшей паствой, Шавельский совершал требы под огнем противника, не оставляя полка и после ранения. Одной из своих задач он считал «подание духовной помощи раненым», где и когда только в этом усматривалась необходимость. Подобное поведение было высоко оценено командованием: в 1904 году Шавельский получил сразу несколько высоких военных и военно-церковных наград: 19 июня его представили к ордену св. Владимира IV степени с мечами и бантом (за исполнение треб под огнем противника в районе Вафангоу [32]); 30 августа – к наперсному кресту на георгиевской ленте (за героическое поведение в боях у села Фунцзятунь [33]), а 21 октября – к ордену св. Анны 2-й степени с мечами (за оказание помощи раненым в боях 28 и 30 сентября [34]).

Воспринимавший самодержавие, как и абсолютное большинство русских священников, не рационально, а мистически, Шавельский в то время искренне апологетизировал происходившие на Дальнем Востоке события [35]. Думается, именно эта апологетизация и заставила его просить протопресвитера Желобовского о назначении – по получении первой же информации о начале боевых действий. В дальнейшем, будучи уже в войсках, он стал описывать боевую жизнь своего полка и посылать свои впечатления в столицу – на имя протопресвитера Желобовского. Судя по материалам официального органа военно-духовного ведомства – «Вестника военного духовенства», священников-участников русско-японской войны, фиксировавших свои впечатления на бумаге и делившихся ими с читателями, было чрезвычайно немного. Таким образом, Шавельский литератор не мог быть не замечен. В 1904 году были опубликованы его впечатления и заметки, рисовавшие если не благостную, то, во всяком случае, морально благополучную ситуацию в войсках. Шавельский вспоминал, что он «не раз» говорил своим сослуживцам, как то, что в его полку «с голодом не знали», так и другое – будто все верили командующему, придерживавшемуся «мудрой тактики», были спокойны «за настоящее и за будущее положение русского дела». Отец Георгий писал, о чем и как ведут разговоры русские солдаты и офицеры на бивуаках, какими словами характеризуют своего противника и на что надеются. В общем, картина вызвала оптимизм, хотя некоторые частности рассказа заставляли задуматься над вопросом о степени подготовленности (с точки зрения технической и боевой оснащенности) русских войск. Так, молодой солдатик, «заработавший» георгиевский крест и с жаром доказывавший, почему японцам «ни в жисть не одолеть России», мотивировал это в рассказе Шавельского тем, что они (японцы) «лезут драться», лишь когда их в десять раз больше, да и тогда они на штык не идут, а все «огнем палят» [36].

Собственно, так оно и было: японцы брали численностью и организацией. После поражения при Вафангоу генерал А.Н. Куропаткин «не решался более переходить в наступление, пока его армия не достигнет огромного, безусловного *численного* перевеса над японцами. Ибо качественно эти последние заведомо теперь были много выше русских» [37]. К тому же, по замечанию М. Н. Покровского, в Маньчжурию русское правительство направляло преимущественно запасных старших сроков, отвыкших от походной жизни и часто не умевших обращаться с современным оружием, в том числе и скорострельными пушками, благодаря чему «японская артиллерия, пушки которой были хуже русских, сплошь и рядом подавляла своим огнем русские батареи» [38].

Религиозно-нравственная подготовка русских войск диссонировала с их боевой подготовкой. Этот вывод можно сделать из рассказа Шавельского, в котором подчеркивалось, что нижние чины с открытым сердцем шли на бой «за царя и за родину» [39], воспринимая смерть на поле брани как «милость Божию» [40]. Заключение Шавельского, прозвучавшее тогда, когда Россия терпела поражения на Дальнем Востоке, выглядело излишне оптимистическим: ведь он убеждал читателей, что величественное здание современной России не может рухнуть, «когда и сейчас в его фундамент готовы вложить свои кости десятки, сотни широких душой и мощных духом новых героев» [41]. Уверенность в крепости религиозных и патриотических убеждений солдат воевавшей на Дальнем Востоке армии на фоне все более сгущавшихся внутренних проблем (особенно проявившихся после убийства 15 июля 1904 года Е.С. Созиновым министра внутренних дел В.К. Плеве [42]) выглядела как констатация безусловной политической лояльности. Можно предположить, что прозвучавшие из уст «боевого» священника слова не могли остаться незамеченными вышестоящим духовным начальством. Когда возникла необходимость кадровых перемен в Первой маньчжурской армии, о Шавельском вспомнили и, вероятно предположить, не в последнюю очередь по этой причине назначили его Главным священником.

В целом же религиозные заботы о состоянии русских войск воспринимались оппозиционной правительству общественностью только в контексте с заявлениями о неподготовленности России к войне. Эти настроения нашли отражение и в сатирическом творчестве тех лет.

Привоз на фронт во время боя икон художник отразил в сакраментальном вопросе офицера, обращенном к возвратившемуся на поле боя посыльному:

– Что? Привезли патроны?

– Нет, иконы [43].

Впрочем, подобное творчество можно воспринимать и как свидетельство достаточно активной деятельности военных священников, в течение всего периода военных действий стремившихся облегчать морально-нравственное положение русских воинов. О том, *как это было*, возможно судить по дневнику священника 51-го драгунского Черниговского полка Митрофана Сребрянского, первоначально публиковавшегося в «Вестнике военного духовенства» и затем, в 1906 году, изданному отдельной книгой (в 1996 году переизданной). Дневник позволяет восстановить и «бытовую сторону» службы военного священника на русско-японской войне. Отец Митрофан оставил ценные психологические зарисовки, позволяющие разобраться в настроениях нижних чинов, их отношении к войне и надеждам на скорое возвращение в центральную Россию. Как правило, в обычные «бивачные» дни священник вел с нижними чинами разговоры о родине, о близких, о свидениях. Ему приходилось отвечать на вопросы и том, скоро ли окончится война. Характерно, что в сентябре 1904 года, отвечая на вопрос, очевидно, ординарца – некоего Ксенофонта, можно ли надеяться на возвращение в Россию к Новому году, отец Митрофан заметил, «что и к Пасхе-то не попадем» [44], тем самым выразив свое сомнение в возможно быстром завершении боевых действий. При этом он отмечал, что происходившее солдаты переносили безропотно, были даже веселы [45].

Особое внимание уделялось отцом Митрофаном (как, очевидно, и другими полковыми священниками) поддержанию религиозных традиций своего полка. Штабной праздник части, где служил Сребрянский, приходился на день святого Феодосия, отец которого был военным. Опираясь на этот факт, священник в своей проповеди, доказывал – военная служба не есть помеха к спасению души. Он «просил воинов отбросить ложный взгляд, будто на военной службе можно себе позволить много лишнего, греховного, чего никогда бы в гражданской жизни не сделал: Бог-де простит. Разве военная служба привольная, греховная? – восклицал отец Митрофан, здесь же отвечая. – Нет и нет» [46]. Стремление доказать простую истину, что военная служба – не помеха вере и не мешает соблюдать церковные уставы, на наш взгляд, показатель того, что «безропотные» и «веселые» солдаты все-таки делали существенное различие между армейским поведением и поведением в мирных условиях, и это различие требовалось религиозно «сгладить».

Одним из главных «направлений» деятельности военных священников на войне всегда было религиозное окормление раненых и отпевание умерших и убитых в бою: в православной стране считалось недопустимым хоронить православных (разумеется, не находившихся под церковным крещением) без соответствующих религиозных актов. Однако их проведение в условиях боевых действий не всегда оказывалось возможным: священников не хватало [47]. В бивачных условиях военным священникам часто приходилось самостоятельно решать вопрос о развертывании так называемой «походной церкви». По-разному клирики решали эту проблему, в зависимости от подручных средств и наличия солдатских рук. Митрофан Сребрянский, к примеру, однажды устроил церковь на месте китайского огорода, расчистив место и поставив палатку, ранее использовавшуюся для жилья. В палатке приготавливался походный престол, покрывавшийся св. антиминсом, на престоле устанавливались иконы. Настоящую походную церковь в условиях холода опасались расставлять: делу мешала замерзшая земля, к тому же от мороза ломались иконы [48]. Итак, как видим, исполнять свои обязанности военным священникам, ранее не имевшим никакого армейского опыта, было непросто (и морально, и практически): дневник отца Митрофана тому достаточно свидетельство.

Таким образом, в условиях крайне неудачной для России войны армейские клирики сумели уберечь армию от морального упадка и не допустили религиозно-нравственного разложе-

ния войск. Большую помощь военные священники оказывали военному руководству в деле поддержания воинской дисциплины. Священник в армии рассматривался прежде всего как педагог, обязанный помогать командиру в деле нравственной подготовки военнослужащих. Священники, не имевшие практического участия в боевых операциях показали себя не просто смелыми пастырями, но и тонкими психологами, в самых экстремальных ситуациях находившими нужные слова и оказывавшими поддержку шедшим на верную смерть воинам.

### Список используемых источников

1. Золотарев В.А. Россия и Япония на заре XX столетия. Аналитические материалы отечественной военной ориенталистики. – М., 1994. – С. 16.
2. Вестник военного духовенства. – 1890. – № 14. – С. 424–425.
3. Ласкеев Ф., свящ. Историческая записка об управлении военным и морским духовенством за минувшее столетие (1800–1900 гг.). – СПб., 1900. – С. 110.
4. Там же. С. 121. Показательно, что ситуация, вызывавшая опасения военного священника, совершенно по иному воспринималась тогдашним обер-прокурором Св. Синода К.П. Победоносцевым, твердившим о религиозном здоровье «оставленного самому себе, неученого» народа (См. напр.: Победоносцев К.П. Московский сборник // Победоносцев: Pro et contra. – СПб., 1996. – С. 168).
5. Ласкеев Ф., свящ. Указ. соч. С. 123.
6. Там же. С. 124. На нужды церковного строительства по Высочайшему повелению в 1901 году было отпущено 200 тысяч рублей, а в 1902 и в 1903 годах – по 450 тысяч. (Столетие военного министерства. 1802–1902. – СПб., 1902. – Т. XIII. (Управление церквами и православным духовенством военного ведомства). – С. 63.
7. Ласкеев Ф. Указ. соч. С. 123–124. В конце XIX столетия военные клирики отмечали необходимость увеличения штата священников для артиллерийских бригад и казачьих полков, а также насущность проведения большего, чем имело место, числа уроков по Закону Божьему.
8. Столетие военного министерства. 1802–1902. – СПб., 1902. – С. 63–65.
9. Там же. С. 65.
10. Благодаря поддержке военного министра А.Н. Куропаткина, по ходатайству протопресвитера А.А. Желобовского с 1 июля 1899 года были увеличены оклады содержания и столовых денег военному духовенству: штатный священник получал 1080 рублей в год (См.: Там же. С. 45).
11. РГИА. – Ф. 806. – Оп. 4. – Д. 2025. – Л. 2.
12. Там же. – Л. 6 – 7.
13. Там же. – Оп. 5. – Д. 9432. – Ч. I. – Л. 33.
14. Там же. – Л. 34.
15. Там же. – Оп. 4. – Д. 2025. – Л. 20.
16. Там же. – Л. 35.
17. Там же. – Л. 38.
18. Там же. – Д. 1433. – Л. 13.
19. Доказательством сказанного могут служить слова А.И. Деникина, отмечавшего в своих воспоминаниях, что «религиозность русского народа, установившаяся за ним веками, к началу XX столетия несколько пошатнулась» Генерал исходил «лишь из того несомненного факта, что поступавшая в военные ряды молодежь к вопросам веры и Церкви относились довольно равнодушно» (Деникин А.И. Очерки русской смуты. – М., 1991. – Т. 1. – С. 78–79).
20. РГА ВМФ. – Ф. 32. – Оп. 1. – Д. 107. – Л. 15.
21. РГИА. – Ф. 806. – Оп. 4. – Д. 4545. – Л. 66.

22. Там же.

23. Там же. – Л. 67.

24. Существует разночтение в датировке: согласно Послужному списку, А.П. Журавский был назначен Главным священником Второй маньчжурской армии 23 октября 1904 года (Там же. Л. 239), а по данным Вестника военного духовенства – 13 октября 1904 года (См.: Вестник военного духовенства. – 1905. – № 7. – С. 197).

25. РГИА. – Ф. 806. – Оп. 4. – Д. 4928. Л. – 236.

26. Там же. – Л. 238.

27. Там же. – Л. 238.

28. Там же. – Д. 4547. – Л. 147–148.

29. Вестник военного духовенства. – 1905. – № 7. – С. 201.

30. РГИА. – Ф. 806. – Оп. 4. – Д. 4534. – Л. 1.

31. Там же. – Д. 4937. – Л. 560. Назначение состоялось 4 февраля 1904 года (См.: Вестник военного духовенства. – 1904. – № 6. – С. 171).

32. РГИА. – Ф. 806. – Оп. 4. – Д. 4638. – Л. 103.

33. Там же. – Л. 190.

34. Там же. – Л. 199.

35. Доказательством сказанному может служить совершенно неудачное с художественной точки зрения стихотворение отца Георгия «На 27-го января 1904 г.», написанное им уже 28 января и заканчивавшееся патетическим требованием к «лихим монголам» «очнуться», оставить «свои задоры» и искать славу «в другом» (См.: Вестник военного духовенства. – 1904. – № 6. – С. 183–184).

36. *Шавельский Г.*, свящ. Из боевой жизни 33-го Восточно-Сибирского стрелкового полка. (Впечатления и заметки очевидца-священника) // Вестник военного духовенства. – 1904. – № 17. – С. 524.

37. *Покровский М. Н.* Русская история в самом сжатом очерке. – М., 1933. – С. 302. См. также *Апушкин В. А.* Русско-японская война 1904–1905 г. – М., 1911. – С. 117.

38. Там же. Кстати сказать, вскоре после поражения под Ляояном императорский наместник на Дальнем Востоке адмирал Е.И. Алексеев в докладной записке Николаю II отмечал неподготовленность русских войск, неудовлетворительное командование ими генерала А.Н. Куропаткина, его нерешительность и лучшую, по сравнению с ними, организацию, а также материально-техническое обеспечение японских войск (См.: РГА ВМФ. – Ф. 32. – Оп. 1. – Д. 8. – Л. 6).

39. «А на лицах у всех не безнадежность, – писал отец Георгий, характеризуя идущих на бой воинов, – не тупое равнодушие, даже не тяжелая дума, а какая-то особенная торжественность светится, и веселы они, и серьезны. На лицах их будто написано, что идут они на великое, отважное, опасное дело, но идут с охотой, с радостью потому именно, что свято и велико оно» (Шавельский Г., свящ. Указ. соч. С. 524). Не будем, однако, забывать и другого обстоятельства, о котором писали в самом начале главы: почти 70 % из поступавших в полки новобранцев не только не знали молитв, но и не имели даже малейшего представления о «религиозных началах». То, что на фронте в 1904–1905 годах была иная ситуация можно объяснить как наличием в армии значительного числа военнотружеников-запасников, имевших хотя бы некоторые представления о православии, так и самим фактом войны – мощным религиозным «усилителем».

40. Там же. – С. 527.

41. Там же.

42. Об этом см. подр.: *Ганелин Р. Ш.* Российское самодержавие в 1905 году. Реформы и революция. – СПб., 1991. – С. 5–59.

43. См. вклейку в книге: *Покровский М. Н.* Указ. соч. С. 304–305.

44. *Сребрянский М.* Дневник полкового священника, служащего на Дальнем Востоке. – М., 1996. – С. 93. Запись от 6 сентября 1904 г.

45. Там же. – С. 96. Запись от 7 сентября 1904 г.
46. Там же. – С. 101. Запись от 9–11 сентября 1904 г.
47. См. напр.: Там же. – С. 129. Запись от 30 сентября.
48. Там же. – С. 194. Запись от 23–25 ноября 1904 г.

С.В. Федулов,  
кандидат исторических наук;  
Н.А. Станкевич

## ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ИМПЕРАТОРСКОЙ РОССИИ И СОЕДИНЕННЫХ ШТАТОВ СЕВЕРНОЙ АМЕРИКИ В ГОДЫ ПЕРВОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ

Изложены данные военно-технического сотрудничества Российской империи и США в области подводного судостроения. Приобретение отечественной промышленностью иностранного опыта в области подводного судостроения, а именно: освоение технологических процессов сборки подводных лодок американского производства; консультации иностранных специалистов; использование железнодорожного транспорта для транспортировки подводных лодок в разобранном виде через всю Россию.

Ключевые слова: военно-техническое сотрудничество, Соединенные Штаты Северной Америки, подводная лодка типа «Голланд», акционерное общество «Ноблесснер».

Военно-техническое сотрудничество Российской империи и Соединенных Штатов Северной Америки (США) в области подводного судостроения в годы Первой мировой войны – одно из самых примечательных событий в международной деятельности Морского министерства России в дореволюционный период.

12 ноября 1916 года начальник отдела подводного плавания (ОПП) капитан 1-го ранга Быков А.Н. сообщил начальнику Главного управления кораблестроения и снабжения (ГУК) контр-адмиралу Муравьеву П.П., что 18 августа 1915 года с обществом «Ноблесснер» был заключен контракт на постройку пяти подводных лодок типа «Голланд» водоизмещением в 361 тонну. На основании этого контракта акционерное общество «Ноблесснер» обязалось передать исполнение заказа обществу «Electric Boat Company» в Ванкувере (США). Условия заказа были следующие: изготовление субмарин осуществлялось на заводе американской фирмы. Далее, в разобранном виде они доставлялись во Владивосток и железнодорожным транспортом – в Петроград, где на Балтийском судостроительном и механическом заводе под наблюдением американских специалистов проводилась их сборка. Первые три подводные лодки должны были быть готовы к сдаточным испытаниям через 9 месяцев, а остальные две – через 10 месяцев. Причем время, необходимое на перевозку частей разобранных лодок из Владивостока к месту сборки, из этого срока исключалось.

Во Владивосток груз начал прибывать на пароходах в следующем порядке:

- 1 партия (10 мест) – 6 февраля 1916 года;
- 2 партия (10 716 мест) – 14 февраля 1916 года;
- 3 партия (219 мест) – 20 марта 1916 года.

Судя по количеству мест подводные лодки в разобранном виде прибыли в Россию полностью. Груз во Владивостоке был принят, проверен и отправлен в Петроград. На транспортировку обеих партий до Петрограда ушло 17 суток [1]. Движение поездов с грузом подводных лодок осуществлялось по маршруту: Владивосток – Маньчжурия – Иркутск – Омск – Самара – Казань – Москва – Петроград. Во всех пунктах на маршруте движения задержек не было, так как начальники станций получили соответствующие указания [2].

Подготовка к работам по сборке лодок на предприятии началась заранее. 25 февраля 1916 года начальник Балтийского судостроительного и механического завода сообщал помощнику Морского министра следующее: «При предстоящей сборке пяти подводных лодок типа «Голланд» для общения с американскими служащими фирмы «Electric Boat Company»

необходимо иметь 6 переводчиков, знакомых с терминами по корабельной и механической части. В интересах сохранения тайны постройки лодок, крайне желательно иметь в качестве переводчиков военных лиц.

Ходатайствую об откомандировании на время постройки подводных лодок типа «Голланд 602 F» из числа юнкеров флота: 3 гардемарин – кораблестроителей и 3 гардемарин – механиков, не сдающих в этом году экзаменов. Условия работы: еженедельно, не исключая праздников, на две смены» [3].

12 марта 1916 года фирма «Electric Boat Company» командировала в Россию капитана 2-го ранга графа Келлера для выяснения всех вопросов, связанных со сборкой американских подводных лодок [4]. Чуть позже прибыли и другие специалисты фирмы.

Закладка киля для всех пяти подводных лодок на Балтийском судостроительном и механическом заводе была произведена 2 апреля 1916 года [1].

22 апреля 1916 года начальник Морского Генерального штаба (МГШ) адмирал Русин А.И. докладывал Морскому министру Российской империи адмиралу Григоровичу И.К., что в настоящее время выполняется заказ по строительству большого количества подводных лодок, предусмотренных судостроительной программой. В связи с этим возник вопрос о переходе к системе их нумерации (а не присвоения названия), как к более удобной и применяемой в большинстве иностранных флотов. Ввиду ожидаемого вступления в состав флота пяти подводных лодок типа «Голланд» водоизмещением в 360 т, купленных в США и собираемых на Балтийском заводе, Командующий флотом Балтийского моря ходатайствовал о наименовании данных лодок следующим порядком: «АГ-11», «АГ-12», «АГ-13», «АГ-14», «АГ-15» («Американская Голланд»). Данное ходатайство Морским министром было утверждено [5].

Однако сборка американских подводных лодок велась не так быстро и успешно, как это предполагалось. 23 сентября 1916 года начальник Балтийского судостроительного и механического завода докладывал помощнику Морского министра, что по окончании сборки первой подводной лодки типа «Голланд 602 F» выяснилось, что полная стоимость ее постройки составляет 225 850 рублей. На 270-м заседании совещания по судостроению было принято решение уплатить за сборку каждой лодки по 142 750 рублей. Эта сумма была близка к заявленной заводом – в 150 000 рублей.

Такая смета была составлена заводом на основании контракта, заключенного отделом общих дел Главного управления кораблестроения и снабжения (ООДГУК) и акционерным обществом «Ноблесснер». В контракте, как автором отмечалось ранее, было определено, что подводные лодки изготавливались в Ванкувере и затем в разобранном виде отправлялись в Россию. Следовательно, можно было ожидать, что все части как корпуса, так и механизмов будут ранее собраны и подогнаны в США. Таким образом, никаких серьезных работ по подгонке на заводе не предполагалось. Действительность же опровергла эти предположения. Завод должен был произвести очень большие судостроительные работы по исправлению, переделыванию, доделыванию того, что было не выполнено или плохо сделано заводом фирмы «Electric Boat Company» в США. В ООП ГУК знали об этих работах благодаря частому посещению постройки подводных лодок капитаном 1-го ранга Солдатовым. Перерасход денежных средств на эти работы составил 415 500 рублей. Начальник завода ходатайствовал о возмещении убытков [6]. Сверхсметные расходы были затрачены на следующее [7]:

- 1) изготовление новых деталей и их подгонку, на переделки, исправления;
- 2) материалы, отпущенные на надобности постройки лодок;
- 3) уплату денежного содержания американским монтажникам;
- 4) добавочное оборудование.

Вместе с тем необходимо отметить, что шла Первая мировая война, и Балтийский судостроительный и механический завод, являясь одним из ведущих оборонных предприятий, выполнял большое количество иных срочных заказов.

24 ноября 1916 года начальник Балтийского судостроительного и механического завода, докладывая начальнику ОПП ГУК о причинах задержки выполнения заказа, представил справку «Сведения о потерянных и мало использованных днях при постройке подводных лодок типа «АГ» и их причинах» [8], в которой было указано:

1. Пасхальный праздник:
  - работы не проводились – 2 дня;
  - работы значительно пониженным темпом – 4 дня.
2. Забастовка клепальщиков:
  - работы не проводились – 8 дней;
  - работы значительно пониженным темпом – 3 дня.
3. Забастовка механических цехов:
  - работы не проводились – 5 дней;
  - работы значительно пониженным темпом – 18 дней [8].

Как видно из данного документа, в годы Первой мировой войны роль человеческого фактора и социально-политического положения в стране была очень значимой. Поэтому 15 июня 1916 года руководство фирмы «Electric Boat Company» и акционерного общества «Ноблеснер» направили наблюдающему за сборкой подводных лодок типа «Голланд 602 F» на Балтийском судостроительном и механическом заводе лейтенанту Копьеву М.В. информационное письмо [9].

В данном письме отмечалось, что существующее неудовлетворительное состояние выполнения заказа вызвано недостатком механиков и плохой организацией работ. Руководство фирм предлагало в интересах своевременного и качественного выполнения контракта ввести рациональную и простую систему премирования рабочих и мастеров. Об этой системе лейтенанту Копьеву М.В. предлагалось известить рабочих. Данная система заключалась в следующем: «1. Если первые две или более подводные лодки будут изготовлены и представлены для испытания в июле 1916 года, а остальные две или три в августе, то мастера и рабочие Балтийского судостроительного и механического завода, непосредственно занятые на сборке этих пяти лодок, получают сверх заработной платы премию. Сумма обещанной премии составляла 20 % полного жалования заработной платы, начиная с 1 июня 1916 года до вышеуказанного времени готовности подводных лодок к испытанию.

2. Если две или более подводные лодки будут изготовлены в течение августа, а остальные две или три в течение сентября, то премия будет выплачена в размере 10 % полного жалования заработной платы, начиная с 1 июня 1916 года до вышеуказанного времени готовности подводных лодок к испытанию.

3. Если время готовности всех пяти подводных лодок будет затянута сверх срока, указанного в ст. 2, но не по вине рабочих, то справедливая премия будет уплачена со всех жалований, получаемых с 1 июня 1916 года до окончания сборки лодок. Размер премии не должен превышать 10 %, а точную ее сумму определяла комиссия, состоящая из представителей сторон, сделавших взносы в премиальный фонд, и представителей рабочих.

4. Если из-за забастовок или халатности мастеров и рабочих в ходе работ произойдет задержка сборки подводных лодок, и они не будут готовы даже после сентября, то никакой премии им выплачено не будет.

В связи с созданием фонда премии русским рабочим, фирма «Electric Boat Company» предложила 10 000 рублей при условии, что сумма фонда будет составлять не менее 35 000 рублей [10].

Необходимо отметить, что принятые меры дали определенные результаты (табл. 1): – «АГ-11» была построена за 1 год 20 дней; «АГ-12» – за 1 год 34 дня. Испытания из-за этого были сокращены соответственно: «АГ-11» – на 10 дней; «АГ 12» – на 9 дней.

Сокращение сроков испытаний в достаточной мере не могли показать соответствие качества подводных лодок, собранных Балтийским судостроительным и механическим заводом, требованиям Морского министерства. Данные приведены в табл. 2.

14 декабря 1916 года начальник ОПП представил справку начальнику ГУК, из которой следовало, что вследствие запаздывания по срокам фактической сборки подводных лодок, указанных выше, пришлось сократить срок проведения их испытаний.

Таблица 1

**Сроки постройки подводных лодок «АГ-13», «АГ-14», «АГ-15»**

Подводная лодка	Начало сборки	Окончание сборки	Сроки сборки
«АГ-13»	17.06.1916 г.	24.09.1916 г.	386 дней
«АГ-14»	17.06.1916 г.	5.10.1916 г.	397 дней
«АГ-15»	17.06.1916 г.	15.10.1916 г.	407 дней

Таблица 2

**Соответствие хода выполнения работ Балтийским судостроительным и механическим заводом условиям контракта**

Подводная лодка	Сроки по условиям контракта	Фактически выполнено	Опоздание
«АГ-13»	374 дня	386 дней	12 дней
«АГ-14»	305 дней	397 дней	92 дня
«АГ-15»	305 дней	403 дня	98 дней

Вместо положенных двух месяцев они осуществлялись в течение [11]:

- «АГ-13» – 42 дней;
- «АГ-14» – 37 дней;
- «АГ-15» – 26 дней.

4 августа 1916 года начальник ГУК и начальник ОПП ГУК обратились к товарищу (помощнику – *прим. автора*) Морского министра с ходатайством поручить контр-адмиралу Левицкому провести испытания собранных американских подводных лодок на тех же основаниях и по тем же программам, как и лодок Балтийского завода и общества «Ноблесснер» [12]. В этот же день начальник Балтийского судостроительного и механического завода обратился к начальнику ОПП ГУК по вопросу о необходимости присутствия на испытаниях американских подводных лодок представителей американской стороны и технического бюро подводного плавания завода [13].

6 августа 1916 года начальник ГУК вице-адмирал Гирс отдал распоряжение контр-адмиралу Левицкому о подготовке к испытаниям подводных лодок типа «Голланд», строящихся на Балтийском заводе, создании им приемной комиссии и подготовке программы испытаний [14].

17 августа 1916 года на Балтийский судостроительный и механический завод прибыли для проведения испытаний подводных лодок типа «АГ» назначенные американской фирмой «Electric Boat Company» капитан команды Гилмор Р.Б. и помощник капитана Фостер В.В. [15]. Учитывая ходатайство начальника Балтийского завода, на испытания американских субмарин было приглашено 10 специалистов фирмы, из них 9 граждан США и 1 представитель Греции [16].

В то же время Морским министерством была создана комиссия для проведения испытаний подводных лодок типа «АГ» в составе: Председатель комиссии – контр-адмирал Левицкий; члены комиссии: мичман Пуаре, лейтенант Могучий, лейтенант Соболев, инженер-механик старший лейтенант Данилов, корабельный инженер штабс-капитан Бохановский, капитан 2-го ранга Кукель, лейтенант Борейша. В работе комиссии принимали участие: Председатель Государственного контроля старший ревизор Гринчак, старший лейтенант Циолкевич и представитель фирмы «Electric Boat Company» Виллер [17].

Приемные испытания подводных лодок проводились:

- «АГ-11» – с 24 августа по 2 сентября 1916 года;
- «АГ-12» – с 7 сентября по 15 сентября 1916 года [18].

Вместе с тем, делая заказы на строительство подводных лодок иностранным фирмам, руководство флота было заинтересовано и в обеспечении их запасными механизмами и агрегатами. Так, 11 ноября 1916 года начальник ОПП капитан 1-го ранга Быков А.Н. обратился к помощнику Морского министра по вопросу о возможности заказа двигателей системы «Дизель» в собранном виде (для быстрой, удобной и качественной, не снижающей боевой готовности лодок, их замене в случае поломок). Помимо двигателей предлагалось создать запас и других импортных механизмов и агрегатов для подводных лодок типов «АГ» и «Нарвал». А именно [19]:

- 1) для Балтийского моря – 4 двигателя по 240 л. с., 2 двигателя по 420 л. с., 3 компрессора, 2 помпы, 2 перископа;
- 2) для Белого моря – 2 двигателя по 240 л. с., 2 компрессора, 2 помпы, 2 перископа;
- 3) для Черного моря – 2 двигателя по 240 л. с., 4 двигателя по 160 л. с., 2 компрессора, 2 помпы, 4 перископа.

Данное ходатайство было удовлетворено и заказы сделаны.

Подводя итоги проведенному нами исследованию, отметим следующее:

1. Рассматривая военно-техническое сотрудничество Российской империи и США в области подводного судостроения, необходимо отметить его сложность и вместе с тем пользу. Сложность заключалась в том, что при размещении заказа акционерное общество «Ноблесснер» не оговорило возможность работы наблюдательной комиссии Морского министерства России на предприятиях фирмы «Electric Boat Company» в США. Это сказалось на сборке субмарин в Петрограде, что привело к затягиванию срока ввода подводных лодок в состав флота и их удорожанию. Выполнение контракта осуществлялось в годы Первой мировой войны, разгара забастовочного движения и революций в России, что также повлияло на сроки строительства.

2. Вместе с тем отечественная промышленность приобретала иностранный опыт в области подводного судостроения, а именно: освоение технологических процессов сборки подводных лодок американского производства; консультации иностранных специалистов; использование железнодорожного транспорта для транспортировки подводных лодок в разобранном виде через всю Россию. Заметим, такой способ доставки лодок для их последующей сборки и использования на Тихоокеанском флоте был применен в Советском Союзе в 1930-е годы.

### Список используемых источников

1. Российский государственный архив Военно-морского флота (далее РГА ВМФ). – Ф. 401. – Оп. 1. – Д. 1333. – Л. 231.
2. Там же. – Д. 1332. – Л. 248.
3. Там же. – Л. 56.
4. Там же. – Л. 2.
5. Там же. – Д. 1332. – Л. 218.
6. Там же. – Д. 1333. – Л. 132–133.
7. Там же. – Л. 125.

8. Там же. – Л. 250.
9. Там же. – Д. 1332. – Л. 268.
10. Там же. – Л. 268.
11. Там же. – Л. 276.
12. Там же, Л. 5.
13. Там же. – Л. 6.
14. Там же. – Л. 7.
15. Там же. – Л. 25.
16. Там же. – Л. 143.
17. Там же. – Л. 218–219.
18. Там же. – Л. 217.
19. Там же. – Л. 225.

Н.В. Шабельник,  
кандидат исторических наук

## **РОЛЬ ПРЕДПРИЯТИЙ МЕСТНОГО ПОДЧИНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ В ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ СТРАНЫ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ**

Рассмотрен процесс функционирования промышленных предприятий местного подчинения Центрально-Черноземного региона в годы Великой Отечественной войны. Показана их роль в обеспечении фронта и значение в военно-промышленном комплексе страны.

Ключевые слова: местная промышленность, промкооперация, прифронтовая зона, военная продукция, спецзаказы.

В современной исторической литературе имеется множество публикаций, посвященных исследованию промышленного потенциала Советского Союза в годы Великой Отечественной войны. В основном внимание исследователей привлекает работа военно-промышленного комплекса, а также предприятий крупной промышленности. Вопросы функционирования предприятий местной промышленности и промкооперации регионов прифронтовой зоны в период войны всесторонне не изучены. Долгое время данная проблема оставалась неактуальной. Это объясняется недооценкой роли этих отраслей в экономике страны в военный период. В последнее время исследователи проявляют интерес к промышленности местного подчинения в годы войны на региональном уровне. Материалы по данной проблематике можно встретить в диссертационных исследованиях, сборниках научных статей, юбилейных региональных изданиях. Значимость функционирования промышленности местного подчинения, ее роль в достижении победы Советским Союзом в Великой Отечественной войне требует глубокого исследования и изучения.

С началом Великой Отечественной войны германские войска стремительно продвигались на восток. Немцами были оккупированы богатейшие экономические районы Советского Союза, на территории которых в мирное время проживало около 42 % населения страны, производились треть валовой продукции всей промышленности и свыше 40 % электроэнергии, выплавлялось около 71 % чугуна и 60 % стали, действовало до 63 % всех мощностей угольной промышленности, выращивалось 38 % зерна. Временная потеря очень важных в экономическом отношении районов и индустриальных центров войны тяжело отразилась на работе всех отраслей народного хозяйства. Период конца 1941 – начала 1942 года был самым сложным и критическим для советской экономики. Народное хозяйство испытывало острую нехватку рабочей силы, топлива, электроэнергии, сырья, различных материалов. Объем валовой продукции промышленности с июня по декабрь 1941 года уменьшился в 1,9 раза. Это потребовало от руководства страны принятия экстренных мер по укреплению экономики.

Несмотря на катастрофические условия, в которых оказалась страна, руководство в кратчайшие сроки разработало и создало стройную структуру государственного и военного управления, которая обеспечивала оперативное решение всех вопросов, связанных с войной, позволила осуществлять практическую связь между армией и народом, фронтом и тылом.

В вопросах организации военного производства в военный период Советское правительство учитывало ошибки России в годы Первой мировой войны, когда государство не смогло обеспечить потребности фронта. Война 1914–1917 годов показала необходимость изготовления боевых припасов во время самой войны, а не использование заготовленных в мирное время [1]. Поэтому еще в довоенный период в СССР была создана мощная военная промышленность, обладающая специализированными заводами по производству танков, авиации,

военных кораблей, вооружения и боеприпасов. В первый месяц войны ЦК ВКП(б) и СНК СССР принимают беспрецедентный мобилизационный народнохозяйственный план, предусматривавший в самые сжатые сроки начать мобилизацию материальных и трудовых ресурсов страны для обеспечения нужд обороны. Позже разрабатывается план по переводу предприятий местного подчинения в военное управление. Именно такая политика, основанная на централизованном управлении, оперативности руководства, опоре на собственный экономический и научно-технический потенциал, планомерности развития народного хозяйства, позволила Верховному Командованию Советской Армии обеспечивать фронт необходимой военной продукцией, несмотря на потерю в первый период войны значительной части запасов военной техники, боеприпасов, снаряжения, созданных накануне Отечественной войны.

С первых дней войны в районах Центрально-Черноземной области было введено военное положение. В августе 1941 года территории Курской и Воронежской областей были объявлены прифронтовой зоной. Началась эвакуация крупных промышленных предприятий на Урал, в Казахстан и Среднюю Азию. К этому времени в Воронежской области функционировало 1042 промышленных предприятия, из них 173 – предприятия областного и районного значения, 346 – артели промкооперации [2, 30]. Курская область насчитывала 3287 предприятий, из них лишь 45 крупных государственных предприятий; остальные 3242 – предприятия областного и районного подчинения, артели промкооперации [3, л.4].

Архивные документы свидетельствуют о том, что в первые дни войны предприятия местной промышленности вообще не имели заданий по оборонным заказам. Их работа ограничивалась выполнением заданий войсковых частей местного гарнизона. Но уже к концу 1941 года местными властями областей Центрального Черноземья был разработан план выпуска продукции для нужд фронта по предприятиям местной промышленности. Внимание властей к промышленным артелям усиливалось. За первые полгода войны по решениям ГКО и СНК СССР местная промышленность страны передала в ведение оборонных наркоматов 60, а промысловая кооперация 200 наиболее крупных и технически оснащенных предприятий.

Оборонные заказы увеличивались с каждым днем. Основной задачей предприятий местного подчинения являлось изготовление боеприпасов, армейского обмундирования, снаряжения. На производство военной продукции переходили практически все мирные предприятия местного подчинения. Воронежский ликеро-водочный завод выпускал бутылки с зажигательной смесью, кондитерская фабрика – взрывчатые вещества, на Борисоглебском мясоконсервном комбинате был организован специальный цех по производству ручной гранаты РГД-33, суконные фабрики Тамбовской области снабжали армию шинелями, маскировочными костюмами, гимнастерками и другими видами военного обмундирования. Курский фармацевтический завод изготавливал комплекты для противогазов, жидкости от отравляющих веществ, медикаменты. На кондитерской фабрике города Курск производили защитные средства от противохимического нападения. Одним из важных заданий в системе местной промышленности было изготовление лыж военного образца.

За первые месяцы войны промышленные артели Воронежской области изготовили более 60 минометов, 17,5 тыс. противотанковых мин, 110 тыс. бутылок с зажигательной жидкостью, 20 т взрывчатки, более 12 тыс. ручных гранат [2, 32]. В районах Курской области предприятиями местной промышленности было освоено производство 26 наименований различного инвентаря для Красной Армии. Предприятия местной промышленности Центрально-Черноземного региона выполняли также специальные задания НКО СССР, госпиталей НКВ СССР. В связи с увеличением заказов военной продукции в регионе были созданы новые районно-промышленные комбинаты, мастерские, цеха.

Несмотря на то, что заранее составленного стратегического плана по переводу предприятий местной промышленности и промкооперации на производство военных изделий ни в центре, ни на местах не было, им удалось освоить и наладить массовый выпуск специальных изделий за 3-4 месяца. В системе промысловой кооперации за полгода войны было освоено

более ста видов военной продукции. Предприятия кооперативной промышленности стали значительным компонентом военно-промышленного комплекса.

Уже в декабре 1941 года снижение промышленного производства было приостановлено. К середине 1942 года утраченные мощности военной промышленности удалось не только восстановить, но и превзойти по многим показателям. Советский Союз создал слаженное военное хозяйство, способное обеспечить в возрастающих размерах производство военной продукции. В 1943 году была решена главная задача – превзойти Германию по количеству и качеству военной продукции, выпуск которой в СССР к этому времени превысил довоенный в 4,3 раза, а в Германии – всего в 2,3 раза.

В ходе быстрого наступления немецких войск в декабре 1941 года линия фронта проходила в границах Курской области. К лету 1942 года территория области практически полностью была захвачена немецкими войсками. В Воронежской области было оккупировано полностью 30 районов и частично 4 района. Территория Тамбовской области оставалась в прифронтовой зоне. В сентябре 1942 года и здесь вводится военное положение. Таким образом, до осени 1943 года территория Центрального Черноземья являлась местом крупных военных сражений. Здесь в тяжелых фронтовых условиях трудящиеся продолжали оказывать помощь Советской Армии.

Промышленный потенциал Курской области, резко ослабленный в результате эвакуации на восток и уничтожения части оборудования, частично использовался оккупантами в своих целях.

Промышленные предприятия местной кооперации Воронежской области в районах, временно оккупированных врагом, в значительной степени подверглись почти полному разрушению, а сохранившаяся часть мелких предприятий были разрушены и требовали капитального ремонта. Вся местная промышленность Воронежской области была полностью деморализована и с приходом вражеских войск прекратила свою производственную деятельность. На неоккупированной территории Воронежской области летом 1942 года оставалось 102 предприятия союзной и республиканской промышленности, главным образом пищевые и 273 предприятия областной промышленности, 107 артелей промкооперации, которые работали в условиях близости военных действий, удовлетворяя нужды фронта и запросы населения [4].

В связи с эвакуацией оборудования, материалов на многих предприятиях было значительно сокращено производство продукции. В области велась срочная работа по восстановлению всех артелей промкооперации, эвакуированных в восточные районы области, в первую очередь топливной, лесной, пищевой промышленности. Активно шла организация целого ряда новых артелей, мелких предприятий, цехов текстильного, швейного, кожевенного производства на базе использования помещений эвакуируемых союзных и республиканских предприятий. К концу 1942 года на территории Воронежской области всего работали 125 артелей системы промкооперации. Действующие предприятия обеспечивали своей продукцией войска Воронежского и Юго-Западного фронтов, частично выпускали товары народного потребления. За это время ими был выполнен план на 72,9 %, в том числе продукции широкого потребления на 84,4 % [5].

На полную мощь в регионе Центрального Черноземья работали лишь предприятия местной промышленности и промкооперации Тамбовской области. Основные сырьевые ресурсы Тамбовской области заключались в сельскохозяйственном сырье. И, естественно, в промышленности области преобладали предприятия, перерабатывающие продукцию сельского хозяйства. Но в условиях прифронтовой зоны эти предприятия также выпускали продукцию для оборонной промышленности. Спиртовой завод выпускал спиртовой ректификат, который применялся в производстве каучука, взрывчатых веществ, пороха. Подсолнечное масло, производимое на предприятиях местной промышленности, являлось сырьем для боевой продукции, химической, текстильной и т. д. Сахарные заводы, махорочные фабрики области, работающие исключительно на местном сырье, давали продукцию для фронта и тыла. Предприятия областного подчинения легкой промышленности Тамбовской области изготавливали

для фронта гимнастерки, брезентовые плащи, рукавицы, шинели. Рассказовский овчинно-шубный завод имел целевое назначение – выпуск армейской шубы для Красной Армии. Мичуринская фабрика «Конволос» производила только оборонное сырье для танковой промышленности и для промышленности самолетостроения. Но в условиях прифронтовой зоны, большая часть местных предприятий региона не справилась с плановыми заданиями 1942 года. Производственная программа по местной промышленности Тамбовской области за 1942 год была выполнена на 84 %. В сложных условиях работы, когда была нарушена система обеспечения предприятий сырьем и топливом, транспортными средствами, электроэнергией, при катастрофической нехватки рабочей силы, в условиях непосредственной близости фронта, это было неплохим результатом.

С декабря 1942 года по осень 1943 года на территории Центрального Черноземья шли ожесточенные бои за освобождение временно оккупированных районов области: наступательные операции «Малый Сатурн», Острогожско-Россошанская, Воронежско-Касторненская, битва на Курской дуге. Победа в этих сражениях была выкована совместными усилиями тыла и фронта. Огромный вклад в нее внесли и трудящиеся Центрального Черноземья.

В ходе подготовки и проведения освободительных боев на территории Центрального Черноземья все предприятия были переключены на выполнение заказов фронта. Большая нагрузка по обеспечению фронта легла на предприятия Тамбовской области. Многим предприятиям Тамбова, находящимся в прифронтовой зоне, приходилось помимо основной продукции осваивать и выпускать новые виды вооружения. Несмотря на то, что промышленность Тамбовской области имела меньший объем по сравнению с другими областями, значение ее для народного хозяйства страны и нужд армии было велико. В период освободительных боев многие предприятия области выполняли специальные заказы армий, расположенных на территории Центрального Черноземья. Для обеспечения войск Воронежского и Брянского фронтов в зимней кампании 1942–1943 года предприятия местной промышленности Тамбовской области производили необходимый инвентарь к автомашинам: водомаслогрейки, автотракторные санные прицепы, утеплительные капоты, печи, обогреватели, а также изготавливали металлические трубы для зарядов, приспособления к ползущим минам, печи окопные с трубами, автомобильные снегоочистители и другие виды военной продукции.

Восстановленные предприятия Воронежской и Курской областей выполняли заказы Воронежского и Юго-Западного фронтов по ремонту боевой техники, по изготовлению противотанковых гранат, горючей смеси для борьбы с танками, по ремонту и пошиву нового обмундирования, в основном кожаной обуви. В месячный срок на предприятиях Курска, Щигров, Валуйк, Старого Оскола было изготовлено 20 тыс. пар обуви и 70 тыс. гимнастерок. В период летних боев 15 восстановленных кооперативных предприятий Курска перевыполнили производственный план, обеспечивая войска Красной Армии [6, 64].

Промышленные предприятия продолжали работу на нужды фронта, несмотря на условия оккупации важных промышленных районов Черноземья, нарушения системы планового снабжения предприятий, условия фронтовой и прифронтовой зоны. На большинстве предприятий осознание потребности сражающейся армии в выпускаемой продукции мобилизовало трудовые коллективы на самоотверженный труд. Особенностью работы промышленных предприятий Центрального Черноземья в период подготовки и проведения освободительных боев на территории региона являлось привлечение рабочих на строительство оборонительных сооружений, на восстановление и строительство стратегически важных путей сообщения одновременно с восстановлением предприятий. Рабочими предприятий Центрального Черноземья было построено и восстановлено несколько аэродромов, около 250 мостов и более трех тысяч километров шоссейных и грунтовых дорог. На строительство оборонительных рубежей в полосе Центрального и Воронежского фронтов было занято до 300 тыс. человек.

После освобождения временно оккупированной территории Центрального Черноземья от немецко-фашистских захватчиков началось восстановление народного хозяйства. Еще более остро чем в довоенный период встал вопрос использования местного сырья, топлива, отходов крупных предприятий и утиля. В связи с нарушением хозяйственных связей обострились проблемы обеспечения страны топливом, транспортными средствами, электроэнергией, фурнитурой и другие. Вопросы экономии сырьевых ресурсов, использование местных запасов природных ископаемых решались не только непосредственно на предприятиях, но и учеными региона. В Воронежском крае, по докладу профессора Дубянского Л.А. «Максимальное использование местного минерального сырья в деле восстановления народного хозяйства и городов Воронежской области» [7], имелась сырьевая база для производства оконного стекла, цемента без сложного заводского оборудования, кварцевые пески для производства цементной черепицы и силикатного кирпича. В производстве местной промышленности можно было использовать месторождения гипса, мела, глины, гранита. В области имелись также месторождения гончарной глины, олигоценовой глины, применяемой в мыловарении, глины для производства алюминия. В Тамбовской области было зарегистрировано 31 месторождение фосфоритов, которые можно было использовать для производства минеральных удобрений в сельском хозяйстве. Тамбовская область имела большой источник строительного сырья, который не использовался и недооценивался – кирпичные и гончарные глины. Для налаживания производства предприятий местной промышленности и промкооперации в регионе активно стали разрабатывать и использовать местную сырьевую базу. Использование региональных месторождений в производстве начали еще в довоенный период, но именно в годы Великой Отечественной войны был накоплен уникальный опыт использования местных ресурсов.

С 1943 года благодаря проведенным мероприятиям предприятия местной и кооперативной промышленности региона начинают выполнять производственный план по валовой продукции. Ведущими предприятиями оставались востребованные на тот период времени предприятия стройматериалов, авторемонтные базы. В регионе в системе предприятий местного масштаба было начато строительство заводов по производству шлакобетона, глиниста, камышитовых плит, производства черепицы, гипса и гипсовых строительных деталей. За три года, с 1943 по 1945 года включительно, в Воронежской области были восстановлены и введены в строй 139 предприятий областного и районного подчинения, 168 артелей промышленной кооперации. В Курской области в течение 1943–1945 годов была восстановлена деятельность 78 % артелей промышленной кооперации от общего числа разрушенных и уничтоженных в период оккупации и военных действий.

Военное производство в конце 1943 – первой половине 1944 года достигло такого уровня, что уже не стояла задача его дальнейшего расширения. В 1944 году в отношении ряда предприятий, работающих на нужды фронта, был взят курс на реконверсию. В Центральном Черноземье предприятия местного подчинения переводились на производство товаров народного потребления. Был освоен выпуск заменителя кожи, налажено производство мебели, изготавливали резиновую обувь, керосиновые лампы, эмалированную посуду и другие товары широкого потребления. Многие предприятия промкооперации начинали осваивать новые виды изделий. Например, в Воронежской области наладили производство грифельных тетрадей. С этой целью в Москву была отправлена бригада рабочих для изучения технологии по производству грифелей. В Курской области артели промкооперации освоили производство красок из глины месторождений области. При реконструкции и строительстве новых предприятий учитывалась аграрная направленность экономики региона. На многих предприятиях местной промышленности изготавливались и реставрировались запчасти к сельскохозяйственным машинам.

С 1944 года первоочередной задачей народного хозяйства региона стало достижение довоенного уровня производства. Однако промышленные предприятия Центрального Черноземья, как и других районов страны, подвергнувшихся оккупации, к концу Великой Отече-

ственной войны не смогли достичь довоенных мощностей и довоенного уровня по выпуску продукции. Производственные мощности восстановленных предприятий в основном не превышали 30 % довоенных.

Восстановление народного хозяйства в период 1943–1945 годов шло параллельно с развитием производства, освоением новых видов продукции. Это проходило в достаточно сложных условиях. Облегчало ситуацию использование местных сырьевых ресурсов, а также выгодное транспортно-географическое расположение вблизи промышленных центров – Москва, Донбасс. Параллельно с восстановительными процессами решался вопрос о комплексном развитии экономики. При реконструкции и строительстве новых предприятий учитывалась аграрная направленность экономики региона. Промышленные предприятия местного подчинения к концу войны полностью перешли на выпуск продукции народного потребления.

Необходимо отметить большой вклад тружеников предприятий местной и кооперативной промышленности Центрального Черноземья в общую победу советского народа над немецко-фашистскими захватчиками. Благодаря самоотверженному труду рабочих предприятия местного подчинения заняли важное место в военно-промышленном комплексе страны.

С началом войны данная сфера народного хозяйства помимо производства товаров широкого потребления и бытового обслуживания населения освоила выпуск военной продукции. Предприятия местной промышленности и промкооперации Центрально-Черноземного региона изготавливали противотанковые мины, гранаты, горючую смесь для борьбы с танками, широко было налажено производство военного снаряжения и обмундирования. В основном изготовление специальных заказов для обеспечения фронта предприятиями местного подчинения и системы промкооперации основывалось на местном сырье. В экстремальных условиях войны производство предприятий данной области экономики, основанное на региональной сырьевой базе и отходах от производства крупных предприятий, получило технологическое развитие.

#### **Список используемых источников**

1. Маниковский А.А. Боевое снабжение русской армии в Мировую войну. – М., Воениздат, 1937. – 346 с.
2. Воронежский фронт: история, люди, победы: историко-монографическое исследование / под ред. А.М. Аббасова и В.А. Шамрая. – Воронеж: ОАО «Центр.-Чернозем. кн. изд-во», 2005. – 400 с.
3. ЦДНИКО. – Ф. 1. – Оп. 1. – Д. 5360. – Л. 4.
4. ЦДНИВО. – Ф. 3. – Оп. 1. – Д. 4536. – Л. 20.
5. ЦДНИВО. – Ф. 3. – Оп. 1. Д. 5137. – Л. 178.
6. Курская область в период Великой Отечественной войны Советского союза 1941–1945 гг.: сборник документов и материалов. – Курск, 1962. – Т.2. – 642 с.
7. ЦДНИВО. – Ф. 3. – Оп.1. – Д. 6038. – Л. 10.

Doronin A.P., Didik O.I., Shmalko S.A. Increasing the operativity of aerospace observations by dissipation of clouds // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P.7–10.

The problems associated with the possibility of increasing the operativity of aerospace observations by dissipation of clouds are discussed. On the basis of material handling aircraft sounding of the atmosphere over a number of points of the Russian Federation quantitative estimates of fitness for dissipation of supercooled air-mass and frontal stratiform clouds during months, seasons, half-years are given. The conclusion about the appropriateness of using, the means of clouds modification (especially in the cold months) to improve the quality of aerospace observations is made.

*Key words* : clouds, modification, air-mass stratiform clouds , frontal stratiform clouds , dissipation the clouds.

Kalinin T.V., Laktyukhin O.A., Khrestinin D.V. Assessment of indicators of quality of detection of dot object out of the atmosphere the optical-electronic complex in various ranges // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 11–21.

In article are calculated and the analysis of indicators of quality of detection of dot object out of the atmosphere by an optical-electronic complex in the visible and ultra-violet ranges of work and in various conditions of supervision is carried out. The maximum range of action of an optical-electronic complex on dot objects with a uniform and composite covering in various conditions of supervision is calculated.

*Key words*: optical-electronic complex, probability correct detection, probability of a false alarm, dot object.

Karin S.A., Lobovko V.V. Innovative platform for creating customized applications of spatial data processing // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 22–29.

The article considers the background to the creation of customized applications for spatial data processing based on integrated network of geographic information systems. Give necessary conditions collective spatial data processing, as well as the basic properties of such data. Describe requirements for the integrated network geographic information systems. Bring the description of developed by experts of Military space academy integrated geographical distributed information system, describes its main characteristics and architecture as a promising innovation platform to create custom applications for processing spatial data. Describe a description of its main features.

*Key words*: GIS, specialized GIS applications, geospatial data, unified data model , distributed network GIS.

Katyucha R.V., Kadolin A.N., Panferov P.P. Multi-parameter identification algorithm many technical condition spacecraft based on fuzzy logic // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 30–33.

Provides algorithm for multi-parameter identification process state using fuzzy logic equations that are based on the matrix of knowledge and systems of logic statements. They allow us to calculate the values of the membership functions of various identification results for fixed values of telemetry parameters.

*Key words*: fuzzy logic, identification, telemetry parameters, spacecraft.

Kezhaev V.A. Problematic issues of firing artillery modeling in local wars and armed conflicts // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 34–38.

It is seemed typical tasks of firing artillery, which arise in local wars and armed conflicts. It is disclosed problematic aspect of tasks under review. It is shown expediency of mathematical modeling application to solve arising problems. Realization of proposed approach is carried by means of method of dynamics of average.

*Key words: fire power, fire control, special software, method of dynamics of average, consumption of shells, average relative loss, modeling.*

Kezhaev V.A., Davidyuk I.V. Methodological features of precision guided munitions efficiency estimation upon condition of heterogeneous information additivity // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 39–41.

It is expound problematic aspects of precision guided munitions efficiency estimation in modern combat operations. It is paid attention to methodological features of controversies resolution in this area. It is suggested approach to solving of typical tasks in this area upon condition of heterogeneous information additivity.

*Key words: efficiency, precision guided munitions, information, additivity of heterogeneous information, information index.*

Kezhaev V.A., Zayakin A.V., Kanitscheva U.U. Scientific and methodological features of electronic terrain maps cognitive graphics application at artillery combat operations modeling // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 42–45.

It is seemed practice of new artificial intelligence theory direction in solving of pragmatical control tasks. It is expound modern opinions about increasing informational content, using by managers. It is suggested directions of overcoming problems related to limited processability of heterogeneous information by human.

*Key words: cognitive graphics, electronic terrain maps, automated control system, computer graphics, cognitive models, artificial intelligence, modeling.*

Kezhaev V.A., Chibisov D.A. Methodical questions of precision guided munitions efficiency estimation upon conditions of information warfare// Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 46–51.

It is seemed different aspects of precision guided munitions efficiency estimation. Emphasis is devoted to information warfare. It is analyzed different nontrivial situations and ways of operational threats compensation. It is described essence of methodical approach to solving typical tasks of precision guided munitions efficiency estimation upon conditions of information warfare.

*Key words: efficiency, precision guided munitions, information warfare, precision guided munitions efficiency estimation apparatus.*

Logunov S.V., Frolov D.V. Develop active optimization algorithm number of pattern recognition by stars noncoordinate information // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 52–59.

Considered the statement and solution of the problem classification of stars by their spectrophotometric information under parametric a priori uncertainty of their special characteristics. Allocation algorithm is proposed for the active main factors to optimize the number of pattern recognition for their star power spectrum and implement classification by the algorithm multialternative detection.

*Key words: astrophotometry, classification of stars, principal factors, devices coupled with a deliberate, active algorithm.*

Maslov V.P., Isakov E.E. The directions of the data support decision making improvement by a commander for maneuver of military elements// Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 60–63.

This article states the certain aspects of making decision on maneuvering the mobile elements, the features of information influence about the terrain on the efficiency and reliability of making decision, to clarify the requirements to its content, the necessity of improvement of

evaluation technique and accounting area tactical characteristics, which are implemented in geographic information systems.

*Key words: the maneuver of mobile elements, commander's decision for the maneuver, terrain tactical characteristics, the use of geographic information systems.*

Polovnikov V.I., Kovalenko E.L., Suvorova I.V. Simplified method for calculating the true coordinates of the sun over the course of atropical year// Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 64–67.

The article addresses the simplified method to determine the coordinates of the Sun ( $\alpha_0$  – right ascension,  $\delta_0$  – Sun's declination) in the second equatorial coordinate system using simple computing devices (an electronic calculator) in the absence of the Astronomical Almanac showing the coordinates of the Sun for the beginning of each day of the year, with the aid of a tear-off calendar that indicates dates and time of the Earth's passage through certain orbit points: spring and autumnal equinox, summer and winter solstice.

*Key words: Sun, winter solstice, summer solstice, equatorial coordinate system, tropical year, northern hemisphere land.*

Polovnikov V.I., Kovalenko E.L., Suvorova I.V. Calculation of time it takes for a geostationary satellite to pass through the Earth's shadow cylinder, over the course of a calendar year // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 68–71.

The article is devoted to calculation of time spend by a geostationary satellite passing through the Earth's shadow cylinder, as a function of the true Sun position in relation to the Earth's equatorial plane, over the course of a calendar year.

*Key words: Sun, calendar year, southern hemisphere of the earth, south pole, the radius of the earth globe, earth's equator.*

Suchkov V.I., Chikurov V.A., Popov D.V. Principles of knowledge about the methods of processing telemetry parameters // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 72–75.

This method enables the adjustment of the synthesized special software technical object to the processing of telemetry data, collects and organizes knowledge for information processing. The implementation of this approach to knowledge organization presupposes a mechanism for querying the knowledge base, which is called the task of processing, and the mechanism controlling the choice of the necessary knowledge, which is called the machine input for the formation of special software technical object or work-program.

*Key words: processing telemetry parameters, procedural knowledge, knowledge base, synthesis of the work program, quasi-dynamic approach, artificial intelligence.*

Ardashov A.A., Sasunkevich A.A., Fominov I.V. The application of the least squares method to the problem of calibrating the Block micromechanical accelerometers // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 76–83.

The application of the least squares method to the problem of calibrating the accelerometer, which is part of the strapdown inertial navigation system compact mobile unit. The proposed approach allows to determine the displacement zero transform coefficients, as well as errors due to misalignment sensitivity accelerometers unit with the axes of the coordinate system of the instrument.

*Key words: calibration, the unit accelerometers, the least squares method.*

Gera V.I., Arkhipov A.A. Recommendations for hazard identification risk analysis operation of ground infrastructure // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 84–87.

An approach to the study of technological system in the risk analysis of their operation and the preliminary assessment of the value identification hazards. Approach is based on the concept of nature ergoentropiynoy hazards and allows to perform a risk assessment, taking into account the accumulated operation in technical energy system.

*Key words: danger, risk, technological system, incident.*

Methods of calculating the components of a small force of interaction of current loops onboard power supply system with an external inhomogeneous magnetic field of the Earth / V.I. Gorbunin, N.V. Radionov, D.L. Kargu, A.V. Nemirov, N.N. Astakhov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 88–91.

In this article describes the main stages of the technique, which allows to calculate the components of a small force of interaction of current loops power supply system with an external inhomogeneous magnetic field of the Earth.

*Key words: external inhomogeneous field of the Earth, on-board power supply system, the current loop.*

Gula D.N., Tipaev V.V. Method of calculating the durability of the metal coating of the launch under cyclic loading at the formation of cracks // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P.92–94.

Developed a method of calculating the durability of the metal coating of the launch complex under cyclic loading at the formation of cracks, designed to determine the durability cycles on a stock.

*Key words: technique, durability, loading, crack, coating.*

Gusev N.N., Iskhakov S.S. The Experience of examination of technical condition of building objects and space industry based on the current legal documents // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 95–97.

The article is devoted to the assessment of the regulatory framework in the field of inspection of technical condition of buildings and constructions, including the construction of space-rocket complexes. The analysis of the technical condition of buildings and constructions of the space industry.

*Key words: survey, technical condition of building structures, bearing capacity.*

Dzitoev A.M., Lapovok E.V., Khankov S.I. Analytical design procedure of the non-stationary temperatures of spherical space object at its movement on a polar elliptic orbit // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 98–106.

The approached analytical design procedure of non-stationary temperatures of space objects of the spherical form, moving on polar elliptic orbits with different height of apogee is developed. The deduced analytical formulas allow to carry out calculations of change in time of temperatures spherical space objects with various thickness of a wall with rather small error. Approximation of dependence of height is put in a basis of techniques over a surface of the Earth from movement time on an elliptic orbit a sine, and also to make linear the equations of non-stationary heat exchange. For quick-response space objects simple settlement formulas, and also formulas for calculations of errors of definition of temperatures are received. The error of calculations of non-stationary temperatures of spherical objects does not exceed three degrees. The offered technique can be extended to objects of more difficult convex form.

*Key words: space object, thermal mode, non-stationary temperatures, elliptic orbits, high-rise relations of fixed temperatures of space object.*

Koban A.J., Dudalev G.V., Michalchenkov A.A. The approach to the improvement of the methods of constructing a system of radar reconnaissance on the basis of formation of an integral index

// Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 107–111.

The article considers the methodological apparatus of constructing a system of radar reconnaissance spacecraft enemy. Identified problems of rational construction of the system of radar reconnaissance and possible ways of their solution.

*Key words: system of radar reconnaissance, scientific-methodical apparatus of constructing a system of radar reconnaissance, the effectiveness of the system of radar.*

Kozlov V.V., Mogan D.O., Chirva S.V. Evaluation durability technical complex objects // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 112–115.

The article provides anew approach to the evaluation of adaptability of technical system, designed for unique products. These products are characterized by the absence of statistically stable information is used to perform traditional assessments of parameters of adaptability, such as the average yield, gamma-percent share, the average life - and gamma-percent service life. The basis of the approach used measure of efficiency, the numerical value can be obtained as product at the design stage and during operation.

*Key words: adaptability, resource efficiency, evaluation.*

Kulagin A.A., Kalmykov E.V. Research of questions of protection of circulating water supply systems of ground space infrastructure from fouling // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 116–119.

Discusses the methods of protection of water recycling systems (COS) from fouling. The results of analysis of main organisms fouling and the main factors influencing the formation of fouling systems of circulating water supply. Taking into account the definition of the dominant factors proposed holding electrochemical treatment of water in the double-diaphragm electrolyzer, allowing to protect the elements of OWLS from bioobraztsami.

*Key words: riobretenie, the system of recycling water supply, two-chamber diaphragm electrolyzer.*

Optimal controller angular stabilization of the spacecraft design with non-rigid parameter estimation by means of asymptotic identification / J.S. Manuylov, V.G. Zinoviev, R.R. Rakhimov, S.S. Yadrennikov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 120–128.

In this paper, the authors propose to solve the problem of maximizing efficiency and high pointing accuracy, as well as reducing the duration of the stabilization phase of the spacecraft observations after its retargeting. Presented formalization and solution of the problem of synthesis of optimal control for stabilizing the angular motion of the spacecraft. Clearly shows how the asymptotic state parameter identification of dynamical systems. A well presented full asymptotic identifiers state vector linear non stationary dynamical systems.

*Key words: optimal control, divert, angular stabilization of motion, non-rigid spacecraft design, the state vector, the asymptotic identification.*

Nekrasov I.N. Application of regression analysis for determining reliability testing and diagnosis of technical systems // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 129–134.

Find estimates of regression coefficients depending on the amount of space of a value of the output signal representative of the unit as a hard-working, confidence probability of finding data-tion unit in this state.

*Key words: diagnosis, regression coefficient, determinant, matrix, component coherence, hypothesis.*

Optimization of the design decisions facing of walls exhaust ducts launch facilities of «Proton» in terms of its / V.A. Popov, V.V. Kozlov, D.O. Mocan, Y.N. Telichko // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 135–140.

For a number of years on the inner surfaces of flues starting construction (PU-39) site JSTs 200, intended for launch of a carrier rocket "proton", the maintenance Department of the launch complex recorded significant damage to concrete monolithic constructions (walls, ceiling, floor), and also metal lining the lower part of the walls of flues. Apparent damage to the inside of the ducts, require ongoing repair work and large financial expenses. In connection with the forthcoming reconstruction of PU-launch complex 39 PC-4F, the specialists of the WHC name Mozhaisky in 2012, had an in-depth examination of flues starting plants with substantiation of new design solutions facing, terms and volumes of work, contributing to the prolongation of the resource of the basic constructive elements of flues.

*Key words: gas-dynamic flow, of flue, resource survey.*

Ptushkin A.I. Mathematical justification method of amount of financing for the ground-based space infrastructure objects innovative development // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 141–149.

The article describes the technique of optimal allocation of scarce resources for the innovative development of ground-based space infrastructure (GSI) objects, which is based on a preliminary determination of the sensitivity functions of quality of functioning of these objects to the inclusion of funds for implementation of works on modernization. As mentioned in the determination of the sensitivity functions, and in the preparation of plans to modernize under the constraint on the resources used by the dynamic programming method. The problem is solved in a rather general setting, when a lot of work on, candidates for implementation, has alternatives. The features of the proposed method compares favorably with other methods for solving such problems. With the proposed method can be reasonably necessary for the modernization of GSI funding as in the case of underfunding plan optimal spending actually allocated funds for maximizing the efficiency of its functioning.

*Key words: ground-based space infrastructure, investment, modernization, performance, response function, dynamic programming.*

Rymkevich P.P., Kotckovich A.V. Non-stationary heart conductivity through the structural elements of the spacecraft // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 150–154.

The multichannel theory of heart is proposed for correct calculation of the non-stationary heart conductivity through the structural elements of the spacecraft. It is shown, the consistent inclusion of multiple scattering of thermal energy leads to the hyperbolic equation of heart conduction.

*Key words: multichannel, non-stationary, heart conductivity.*

Sadin D.V., Samoylov N.S., Varvarskiy V.M. Comparison of accuracy of some TVD – schemes for problems of the wave flow of the two – phase disperse medium // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 155–163.

Comparison of accuracy of some TVD-schemes for calculation of problems of the wave flow of the two-phase disperse medium with distinction of speeds, temperatures and the general pressure of phases is executed. As the test the Riemann problem in system the two-phase disperse medium - gas is considered. The form of artificial viscosity depending on intensity of a shock wave and providing good approach of shock-wave and contact ruptures is offered.

*Key words: two-phase disperse medium, wave dynamics, TVD-schemes, comparison of accuracy.*

Shafigullin I. Sh., Kubusha A.V. Methodical approaches to the description of hierarchical structure of multilevel organizational and technical military-oriented system // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 164–168.

The analysis of creation of difficult organizational and technical system is stated. At the description of systems it is important to consider that difficult OTS and their governing bodies, belong to a class of hierarchical systems. The theory of multilevel hierarchical systems is considered.

*Key words: OTS model, governing bodies, hierarchical structure, OTS control system.*

Shvaykovskiy M.A., Ilin A.V. Rationale for selection devices relay protection with electro mechanical and microprocessor element base // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 169–172.

This article discusses the criteria for selecting relay protection using electromechanical relays and microprocessor devices, based on the technical capabilities and operational features of these devices. The analysis of vulnerabilities microprocessor relay protection.

*Key words: microprocessor relay protection devices, power networks and systems, electromechanical relay protection.*

Scherbakov V.I. The expansion of potential areas of application space tether system based on the classification of processes of interaction // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 173–179.

The author has proposed the approach for analysis and characterization of potential areas for the applications for the space Tether Satellite System. This approach is based on their new classification. The underlying philosophical categories “form” and “content” was put on the basis classification criteria. This categories revealed a new essence of the processes of interaction in Tethered Satellite System.

*Key words: Tether Satellite System, physical processes, classification criteria, form and content of interaction, information product.*

Gorshkov L.K. Etymological background of the main terms and turns of speech in theoretical mechanics // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 180–185.

In the article historical data on formation of theoretical mechanics as science and its terminology are tracked. It is shown that current basic concepts and turns of speech in theoretical mechanics have etymological background of an Ancient Greece, Latin, medieval and European and domestic origin. Typical examples of the use of widely known terms, its original meaning and modern interpretation are given.

*Key words: theoretical mechanics, terms and turns of speech, etymological background, original meaning, modern interpretation.*

Dugin I.M. To develop pedagogical concept of students of secondary schools MO RF (system-anthropological approach // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 186–195.

Summarize the contents of the system-anthropological approach as a methodological development tools pedagogical concept of moral education of students of secondary schools Russian Federation Ministry of Defense.

*Key words: methodological approach, moral education, pedagogical concept, pattern of moral education, principle of moral education, requirements for moral education.*

Gytorovich O.V. The phenomenon of contemporary technique: ethical aspects // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 196–201.

The article is devoted to ethical aspects of development of the phenomenon of “technique”. It examines the basic ethical positions concerning the evaluation of technique and its development in

modern civilization. The article points out that the impact of technical activities on society is becoming global and problems arising from the use of technique are ceasing to be a matter of specific professional thing. They are becoming the subject of public discussion, and sometimes even condemnation.

*Key words: technique, ethical assessment, technical progress, technophobia, technocratic.*

Kurbatov O.A. Religious and moral education in the Russian army in the late XIX – early XX centuries // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 202–215.

The article is devoted to religious and moral education in the Russian army in the late XIX - early XX centuries it reveals the activities of the military clergy. Beginning in 1904, the Russo-Japanese war was a test of how military pastors have coped with the task of religious and moral education of the personnel. We can say that the war was brought up military priests "new type", who were able not only to "console" in the rear, but also to inspire the soldiers on the battle field.

*Key words: military, the clergy, the religious and moral education, military, regimental priest, Protopresbyter, Church, education.*

Fedulov S.V., Stankevich N.A. Military and technical cooperation of Imperial Russia and the United States of North America in the years of World War I // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 216–221.

Data of military and technical cooperation of the Russian Empire and SShSA in the field of underwater shipbuilding are stated. Acquisition by the domestic industry of foreign experience in area of underwater shipbuilding. Namely: development of technological processes of assembly of submarines of the American production; consultations of foreign experts; use of railway transport for transportation of submarines in unassembled form through all Russia.

*Key words: Military and technical cooperation, United States of North America, «Golland» submarine, «Noblesner» Joint-stock company.*

Shabelnik N.V. Role of the enterprises submission of Central Cherozemya in country military industrial complex in days of the Great Patriotic War. // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 643. – P. 222–227.

Process of functioning of the industrial enterprises of local submission of the Central Chernozem region in days of the Great Patriotic War is considered. Their role in providing the front and value in country military industrial complex is shown.

*Key words: local industry, promkooperation, front zone, military production, specialorders.*

**Ардашов Август Анатольевич**, старший научный сотрудник отдела перспектив развития, применения и обоснования ТТТ к автономным системам управления ракетно-космической техники Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, старший научный сотрудник; тел.: 8 (911) 217-44-96.

**Архипов Анатолий Анатольевич**, преподаватель 103-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-35.

**Астахов Николай Николаевич**, адъюнкт 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 102-68-87 e-mail: [666cvbnm@mail.ru](mailto:666cvbnm@mail.ru)

**Варварский Василий Михайлович**, начальник 123-й лаборатории (научно-исследовательской), старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: (812) 347-95-11.

**Гера Василий Иосифович**, доцент 103-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-97-35, , e-mail: [geratv33@mail.ru](mailto:geratv33@mail.ru)

**Горбулин Владимир Иванович**, профессор 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (911) 299-27-76, e-mail: [v\\_gorbulin@mail.ru](mailto:v_gorbulin@mail.ru)

**Горшков Лев Капитонович**, профессор кафедры теоретической механики и деталей машин Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор; тел.: 8-911-180-41-81.

**Гула Дмитрий Николаевич**, начальник 141-й лаборатории (научно-исследовательской) Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-1

**Гусев Николай Николаевич**, старший преподаватель кафедры специальных сооружений ракетно-космических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-45, e-mail: [gusev@ Rambler.ru](mailto:gusev@ Rambler.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](mailto:olwikgut@yandex.ru)

**Давидюк Игорь Васильевич**, докторант Михайловской военной артиллерийской академии, (Россия, Санкт-Петербург, ул. Комсомола, 22); кандидат военных наук.

**Дзитоев Азамат Миронович**, адъюнкт 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: (981) 146-71-60.

**Дидык Олег Игоревич**, преподаватель кафедры технологии и средств метеорологического обеспечения Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-52, *e-mail: o.didik@mail.ru*

**Доронин Александр Павлович**, профессор кафедры технологии и средств метеорологического обеспечения Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-52, *e-mail: doronin52@mail.ru*

**Дугин Игорь Михайлович**, доцент 108-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук; тел.: 8 (812) 774-11-43, *e-mail: duginigor@yandex.ru*

**Дудалев Геннадий Владимирович**, начальник 115-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (911) 826-38-44, *e-mail: dudolevi@mail.ru*

**Заякин Андрей Владимирович**, генеральный директор ЗАО научно-производственной испытательной фирмы «Военные технологии», соискатель кафедры автоматизированного управления Михайловской военной артиллерийской академии (Россия, Санкт-Петербург).

**Зиновьев Валерий Григорьевич**, доцент кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в АСУ (войсками) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 347-95-65.

**Ильин Антон Викторович**, преподаватель кафедры энергоснабжения (объектов наземной космической инфраструктуры) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук.

**Исаков Евгений Естиславович**, старший преподаватель кафедры организации повседневной деятельности и боевой подготовки Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-29.

**Исхаков Шавкат Шамильевич**, доцент кафедры специальных сооружений ракетно-космических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (921) 643-55-41, *e-mail: ischakov@mail.ru*

**Кадолин Александр Николаевич**, начальник 831-й лаборатории кафедры средств контроля космического пространства Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 908-02-97.

**Калинин Тимур Валерьевич**, профессор кафедры СПРН Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (981) 895-72-93, *e-mail: timurkalinin@yandex.ru*

**Калмыков Евгений Витальевич**, курсовой офицер факультета наземной космической инфраструктуры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13).

**Канищева Юлия Юрьевна**, преподаватель кафедры автоматизированного управления Михайловской военной артиллерийской академии, соискатель (Россия, Санкт-Петербург, ул. Комсомола, 22).

**Каргу Дмитрий Леонидович**, начальник кафедры бортового электрооборудования и энергетических систем летательных аппаратов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-22 e-mail: [dmitrii\\_kargu@mail.ru](mailto:dmitrii_kargu@mail.ru)

**Карин Сергей Александрович**, заместитель начальника 51-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-95-51, e-mail: [Sergey.Karin@gmail.com](mailto:Sergey.Karin@gmail.com)

**Катюха Роман Васильевич**, преподаватель кафедры средств контроля космического пространства Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(921) 360-83-58.

**Кежаев Валерий Алексеевич**, старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; e-mail: [kezhov@rambler.ru](mailto:kezhov@rambler.ru)

**Кобан Андрей Яковлевич**, начальник радиотехнических войск Военно-воздушных сил РФ (Россия, Москва, в/ч 23535-П); тел.: 8 (495) 696-97-56.

**Коваленко Елена Леонидовна**, научный сотрудник отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8-911-266-30-76.

**Козлов Владимир Владимирович**, профессор кафедры стартовых и технических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(812) 347-95-14, e-mail: [kozlov@yandex.ru](mailto:kozlov@yandex.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](mailto:alla_kotskovich@mail.ru)

**Кубуша Александр Владимирович**, старший преподаватель кафедры управления организационно-техническими системами космического назначения Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-97-20, e-mail: [piterkav2009@yandex.ru](mailto:piterkav2009@yandex.ru)

**Кулагин Алексей Анатольевич**, старший преподаватель 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук.

**Курбатов Олег Анатольевич**, доцент кафедры истории и философии Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат исторических наук; тел.: 8 (911) 268-17-27, e-mail: [kurbatvoleg@rambler.ru](mailto:kurbatvoleg@rambler.ru)

**Лактюхин Олег Александрович**, профессор кафедры УПД Военно-учебного научного центра Сухопутных войск (филиал г. Рязань); (390031, Россия, Рязань, пл. ген. Маргелова, 1); кандидат военных наук, профессор; тел.: 8 (903) 836-77-46.

**Лаповок Евгений Владимирович**, старший научный сотрудник 43-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: (812) 347-97-16.

**Лобовко Владимир Витальевич**, преподаватель 51-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-51, e-mail: [vmlob@mail.ru](mailto:vmlob@mail.ru)

**Логунов Сергей Владимирович**, преподаватель кафедры средств контроля космического пространства Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(931) 305-53-72.

**Мануйлов Юрий Сергеевич**, профессор кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в АСУ (войсками) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 347-95-65, e-mail: [kotmanof@rambler.ru](mailto:kotmanof@rambler.ru)

**Маслов Владимир Петрович**, профессор кафедры организации повседневной деятельности и боевой подготовки Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-29.

**Михалченков Алексей Александрович**, преподаватель 115-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (911) 196-87-46, e-mail: [aleksey.mih-ov@mail.ru](mailto:aleksey.mih-ov@mail.ru)

**Мокан Денис Олегович**, старший преподаватель кафедры стартовых и технических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург ул. Ждановска, 13); кандидат технических наук; тел.: 8(812) 347-95-14, e-mail: [vkado@yandex.ru](mailto:vkado@yandex.ru)

**Некрасов Игорь Николаевич**, адъюнкт кафедры систем жизнеобеспечения объектов наземной космической инфраструктуры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13).

**Немиров Алексей Владимирович**, преподаватель 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 701-75-63 e-mail: [dmitrii\\_kargu@mail.ru](mailto:dmitrii_kargu@mail.ru)

**Панфёров Пётр Петрович**, начальник 841-й лаборатории кафедры тактики частей и подразделений РКО Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 194-49-47.

**Половников Виталий Иванович**, главный научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 980-40-79.

**Попов Виктор Александрович**, старший научный сотрудник 15-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, старший научный сотрудник; тел.: 8 (921) 326-67-23, e-mail: poviktal@yandex.ru

**Попов Дмитрий Вячеславович**, начальник лаборатории кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в автоматизированных системах управления войсками Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 237-95-65.

**Птушкин Анатолий Иванович**, профессор 103-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-97-135, e-mail: anatoly.ptushkin2011@yandex.ru

**Радионов Николай Васильевич**, профессор 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор экономических наук; тел.: 8 (921) 774-09-16, e-mail: [v\\_gorbulin@mail.ru](mailto:v_gorbulin@mail.ru)

**Рахимов Рустам Рахмоналиевич**, начальник курса факультета автоматизированных систем управления Войсками ВКО Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 347-98-48, e-mail: [rus\\_ka86@mail.com](mailto:rus_ka86@mail.com)

**Рымкевич Павел Павлович**, профессор 112-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат физико-математических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-72, e-mail: pprymkevich@gmail.com

**Садин Дмитрий Викторович**, профессор 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: (812) 347-95-11.

**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.: (812) 347-95-11.

**Сасункевич Александр Анатольевич**, преподаватель кафедры автономных систем управления Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (951) 654-60-86.

**Станкевич Наталия Александровна**, офицер отдела (ОНР) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 240-06-33, e-mail: [nat24ru@nm.ru](mailto:nat24ru@nm.ru)

**Суворова Ирина Валентиновна**, научный сотрудник отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8-952-240-08-90.

**Сучков Валерий Иванович**, профессор кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в автоматизированных системах управления войсками Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 237-95-65.

**Тиличко Юрий Николаевич**, научный сотрудник 15-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 7 (905) 276- 93-82.

**Типаев Владимир Владимирович**, начальник 14-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-10.

**Федулов Сергей Валентинович**, доцент 108-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат исторических наук; тел.: 8-981-170-19-90, e-mail: serg.val.fed.661000@yandex.ru

**Фоминов Иван Вячеславович**, докторант 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (921) 642-41-28.

**Фролов Дмитрий Валерьевич**, старший преподаватель 83-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(950) 033-58-60.

**Ханков Сергей Иванович**, ведущий научный сотрудник 43-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: (812) 347-97-16.

**Хрестинин Дмитрий Владимирович**, преподаватель кафедры СПРН Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 861-59-63, e-mail: diiimaaarik@mail.ru

**Чибисов Дмитрий Александрович**, офицер 222-го Центра подготовки полетных заданий, соискатель кафедры автоматизированного управления Михайловской военной артиллерийской академии (Россия, Москва).

**Чикуров Виталий Александрович**, начальник кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в автоматизированных системах управления войсками Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 237-95-65.

**Чирва Сергей Витальевич**, начальник лаборатории 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-14, e-mail: mdo.vka@yandex.ru

**Шафигуллин Ильдар Шайхутдинович**, начальник кафедры управления организационно-техническими системами космического назначения Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-58, e-mail: [ildar1705@mail.ru](mailto:ildar1705@mail.ru)

**Швайковский Михаил Александрович**, доцент кафедры энергоснабжения (объектов наземной космической инфраструктуры) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент.

**Щербаков Валерий Иванович**, заведующий кафедрой теоретической механики и теории механизмов и машин Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-89

**Шабельник Наталия Вячеславовна**, доцент кафедры истории и философии Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат исторических наук; тел.: 8(911) 795-80-91, e-mail: [dnshimmm@gmail.com](mailto:dnshimmm@gmail.com)

**Шмалько Светлана Анатольевна**, преподаватель кафедры технологии и средств метеорологического обеспечения Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-52, e-mail: [tara-ton\\_23@mail.ru](mailto:tara-ton_23@mail.ru)

**Ядрёнников Станислав Сергеевич**, курсовой офицер факультета автоматизированных систем управления Войсками ВКО Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 347-98-48, e-mail: [purple4you@mail.ru](mailto:purple4you@mail.ru)

**Аверкиев Николай Федорович**, профессор 16-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(812) 347-96-16, *e-mail: averkiev@mail.ru*

**Авсюкевич Дмитрий Алексеевич**, профессор 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Алексеев Тимофей Владимирович**, профессор 108-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор исторических наук, доцент.

**Анисимов Владимир Георгиевич**, старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Арсеньев Владимир Николаевич**, профессор 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-14, *e-mail: arsvn@yandex.ru*

**Багрецов Сергей Алексеевич**, старший научный сотрудник 61-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Волков Валерий Федорович**, профессор 91-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор.

**Герасимов Александр Николаевич**, доцент 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Голик Александр Михайлович**, профессор 83-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Голяков Алексей Дмитриевич**, профессор 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор исторических наук, профессор; тел.: 8 (921) 779-70-19.

**Гончаревский Вилен Степанович**, профессор 92-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор.

**Горбулин Владимир Иванович**, профессор 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-22, *e-mail: v\_gorbulin@mail.ru*

**Горбулин Владимир Иванович**, профессор 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-97-21, *e-mail: v\_gorbulin@mail.ru*

**Гореликов Владимир Георгиевич**, заведующий кафедрой механики Горного университета (Санкт-Петербург); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 328-82-82, 8-921-982-05-11.

**Грудинин Игорь Владимирович**, профессор 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8(812) 742-47-65.

**Доронин Александр Павлович**, профессор 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент.

**Еремеев Михаил Алексеевич**, начальник 61-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 235-28-71.

**Ефимов Николай Ефимович**, профессор кафедры управления ракетными ударами огнем артиллерии в бою и операции Михайловской военной артиллерийской академии (Санкт-Петербург, ул. Комсомола, 22); доктор технических наук, профессор.

**Калинин Владимир Николаевич**, профессор 112-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(812) 347-96-72, *e-mail: kvn.112@mail.ru*

**Козин Пётр Александрович**, профессор 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(812) 347-96-45, *e-mail: kozin\_pa@rambler.ru*

**Козлов Владимир Владимирович**, профессор 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-14, *e-mail: kozlov@yandex.ru*

**Косырев Сергей Викторович**, профессор 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 347-96-93.

**Кузьмин Владимир Никифорович**, профессор 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 347-97-01.

**Кулешов Юрий Владимирович**, заместитель начальника Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по учебной и научной работе (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Кунтурова Надежда Борисовна**, профессор 111-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор педагогических наук, доцент; тел.: 8-921-753-04-88.

**Лебедев Евгений Леонидович**, начальник 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8(812) 347-95-11, *e-mail: zlebedev@yandex.ru*

**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.

**Мануйлов Юрий Сергеевич**, профессор 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(812) 347-95-65, *e-mail: kotmanof@rambler.ru*

**Миронов Александр Николаевич**, профессор 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(812) 347-96-13, *e-mail: mironov-anik@yandex.ru*

**Огородников Владимир Петрович**, профессор 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор философских наук, профессор.

**Онуфрей Андрей Юрьевич**, ведущий научный сотрудник 5-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 230-28-15.

**Петров Геннадий Дмитриевич**, начальник 103-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(812) 347-97-35.

**Пирогов Сергей Юрьевич**, старший преподаватель 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8(812) 347-95-25, *e-mail: pirogov205@mail.ru*

**Половников Виталий Владимирович**, начальник 14-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Разумов Александр Владимирович**, старший научный сотрудник 51-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Садин Дмитрий Викторович**, начальник 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-11, *e-mail: sadin@yandex.ru*

**Сазонов Константин Викторович**, начальник 54-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-54.

**Сеньченков Валентин Иванович**, профессор 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Староселец Всеволод Георгиевич**, профессор кафедры автоматизированного управления Михайловской военной артиллерийской академии (Санкт-Петербург, ул. Комсомола, 22); доктор технических наук, профессор.

**Щерба Александр Николаевич**, профессор 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор исторических наук, профессор; тел.: 8 (812) 459-65-51, *e-mail: a.n.sherba@mail.ru*

**Яковлев Владимир Иванович**, начальник отдела экспертиз промышленной безопасности ООО «НТЦ Экспертсервис» (197136, Санкт-Петербург, ул. Ленина, 24); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 232-81-63, *e-mail: ctex@inbox.ru*