

№ 1⁺⁰
2015

[35]

ИЗВЕСТИЯ

научно-технический журнал

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ



8
ФЕВРАЛЯ

День
РОССИЙСКОЙ НАУКИ

Наука есть ясное познание истины, просвещение разума, непорочное увеселение жизни, похвала юности, старости подпора, строительница градов, полков, крепость успеха в несчастьи, в счастьях – украшение, везде верный и безотлучный спутник. *М.В. Ломоносов*





ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

- 2 **Е.И. Маевский, С.В. Смуров, Л.Н. Хижняк, Е.П. Хижняк.** Настоящее и будущее инфракрасной термографии
- 13 **А.Д. Поздняков, А.А. Руфов.** Интерполяционный алгоритм восстановления и измерения среднеквадратического значения гармонического сигнала при малом числе отсчетов

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

- 19 **С.А. Климов, Д.Г. Митрофанов.** Разрешение целей по угловым координатам в радиолокационной системе с моноимпульсным пеленгатором
- 24 **К.А. Батенков.** Технический эффект оптимальных линейных модуляции и демодуляции в беспроводных системах связи
- 29 **А.В. Подзоров, В.В. Харченко, А.С. Вартамян, В.В. Котова.** Анализ влияния защитных покрытий на характеристики цилиндрической антенны

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- 32 **И.В. Хабибуллин.** Применение системной инженерии к развитию критериальной базы оценки безопасности автоматизированных информационных систем
- 36 **Д.В. Смирнов, А.И. Алаторцев.** Способ формирования команды включения двигательных установок космического летательного аппарата для обеспечения его пространственного маневра на баллистическом участке траектории
- 40 **А.Ю. Вяткин, Д.В. Смирнов, И.А. Кочетов.** Системы поддержки принятия решений – современный этап развития информационных систем
- 43 **В.В. Редькин, А.А. Коробков, О.В. Кемаев, М.В. Кулик.** Разработка термодинамических уравнений некоторых процессов с переменной массой газа в низкотемпературных системах трубопроводного транспорта природного газа на основе первого начала термодинамики для открытых систем
- 49 **В.В. Редькин, А.А. Коробков, О.В. Кемаев, М.В. Кулик.** Разработка уравнений для расчета подогрева газа в низкотемпературных трубопроводах
- 52 **А.Е. Попов, Д.П. Мотасов.** Обобщенная пространственно-графическая модель организации перевозки элементов ракетного вооружения по железным дорогам общего назначения
- 56 **С.И. Битюков, А.В. Синьговский, В.В. Смирнова.** Об одном методе идентификации электромагнитных ливней
- 61 **И.В. Ажиненко, С.И. Битюков, Н.В. Красников, В.В. Смирнова.** Свободно распространяемое программное обеспечение статистической обработки информационных потоков в задачах ядерной физики
- 65 **Б.П. Смирнов.** О строении информационного пространства автоматизированной системы с территориально разнесенными первоисточниками информации
- 71 **Ю.Н. Артамонов.** Управление индикативными параметрами целевых программ на основе механизмов бутстреп-анализа
- 76 **В.П. Карулин.** Ресурсосберегающий подход к сохранению работоспособности совокупности технических устройств в условиях изменения требований к уровню технического состояния

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

- 82 **И.А. Шеремет.** Гибкие технологии как средство повышения боевой эффективности вооруженных сил и конкурентоспособности экономики

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И РОБОТОТЕХНИКА

- 95 **И.А. Бугаков.** Еще раз о нейрофилософии: что это такое?

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

- 97 **О.Н. Андрух, А.С. Сидорова.** Квалиметрические методы оценки деятельности преподавателей вузов

102 **AUTHORS**

103 **СОБЫТИЯ**

Научно-технический журнал

**ИЗВЕСТИЯ
Института инженерной физики**
№1(35)2015

Издается с апреля 2006 г. Выходит ежеквартально

Решением Президиума ВАК включен в
«Перечень ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий»

Главный редактор, председатель
редакционного совета
и редакционной коллегии

Алексей Николаевич Царьков

Президент – Председатель Правления МОУ «ИИФ»,
заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор

Редакционный совет

Геннадий Иванович Азаров

заместитель генерального директора – директор
Департамента телекоммуникационных систем ФГУП
«ЦНИИ ЭИСУ»,
доктор технических наук, профессор

Анатолий Николаевич Геращенко

ректор Московского авиационного института
(национального исследовательского университета),
доктор технических наук, профессор

Сергей Владимирович Дворянкин

начальник департамента Государственной
корпорации «РОСТЕХ» ОАО КРЭТ,
доктор технических наук, профессор

Анатолий Анатольевич Донченко

заместитель начальника Главного научно-
исследовательского испытательного центра
робототехники по научно-исследовательской и
испытательной работе Министерства обороны РФ,
доктор технических наук, профессор

Николай Михайлович Емелин

заместитель директора ФГБНУ «Госметодцентр»
по научной работе,
заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор

Валерий Иванович Николаев

научный референт ОАО «Концерн «Созвездие»,
доктор технических наук, профессор

Владимир Георгиевич Редько

заместитель руководителя Центра
оптико-нейронных технологий НИИ
системных исследований РАН,
доктор физико-математических наук

Юрий Александрович Романенко

заместитель главы администрации города
Протвино, заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор

Анатолий Васильевич Тодосийчук

заместитель руководителя аппарата Комитета
Государственной Думы по науке
и наукоёмким технологиям,
почетный работник науки и техники РФ,
доктор экономических наук, профессор

Игорь Анатольевич Шеремет

член Военно-промышленной комиссии
при Правительстве Российской Федерации,
Председатель совета Военно-промышленной
комиссии по АСУ, связи, разведке, радиоэлектронной
борьбе и информационному противоборству,
доктор технических наук, профессор

Редакционная коллегия

Олег Николаевич Андрух

кандидат технических наук, доцент

Борис Фёдорович Безродный

доктор технических наук, профессор

Сергей Борисович Беркович

доктор технических наук, профессор

Владимир Эрнестович Бородай

кандидат технических наук,

старший научный сотрудник

Игорь Александрович Бугаков

заслуженный изобретатель РФ,

доктор технических наук, профессор

Александр Михайлович Вальваков

почетный работник науки и техники РФ,

доктор технических наук

Вадим Геннадьевич Грибунин

доктор технических наук

Сергей Григорьевич Данилюк

доктор технических наук, профессор

Владимир Владимирович Зеленевский

доктор технических наук, профессор

Николай Николаевич Казаков

член Союза писателей России

Олег Павлович Кузнецов

кандидат технических наук, доцент

Александр Ильич Куприянов

доктор технических наук, профессор

Дмитрий Геннадьевич Митрофанов

заслуженный изобретатель РФ,

доктор технических наук, профессор

Роман Леонидович Мусатов

кандидат технических наук

заместитель главного редактора

Игорь Павлович Новожилов

выпускающий редактор

Игорь Николаевич Оков

доктор технических наук, профессор

Владимир Петрович Пашинцев

заслуженный работник высшей школы РФ,

доктор технических наук, профессор

Валерий Николаевич Умников

доктор технических наук, профессор

Дмитрий Вячеславович Смирнов

доктор технических наук, доцент

Сергей Владимирович Смуров

доктор технических наук, профессор

Владимир Анатольевич Цимбал

заслуженный деятель науки РФ,

доктор технических наук, профессор

Сергей Николаевич Шиманов

почетный радист РФ,

доктор технических наук, профессор

ISSN 2073-8110

Учредитель и издатель – МОУ «ИИФ». Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а

Подписной индекс: 59190 по каталогу «Научно-технические издания» ОАО «Роспечать»

Адрес редакции: 142210, Московская обл.,

г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.

Тел: +7(4967)35-31-93, 35-13-71

Факс: +7(4967)35-44-20 <http://www.iifrf.ru>

e-mail: iifrfinfo@gmail.com info@iifrf.ru

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-26650 от 20 декабря 2006 г.

Отпечатано на полиграфической базе МОУ «ИИФ».

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,

Большой Ударный пер., д. 1а.

Подписано в печать 01.02.2015. Дата выхода

в свет 03.02.2015. Тираж 2000 экз. Цена свободная.

© Межрегиональное общественное учреждение

«Институт инженерной физики» (ИИФ), 2015



Владимир Эрнестович Бородай

Заместитель генерального директора по прочностным исследованиям и технической диагностике – главный конструктор МОУ «ИИФ», лауреат Государственной премии СССР, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Дорогие друзья, уважаемые коллеги!

В нашей стране многие нововведения берут свое начало от выдающегося реформатора, первого Императора Всероссийского Петра I. День российской науки, отмечаемый 8 февраля, не исключение, так как именно в этот день (по новому стилю) в 1724 году по распоряжению Петра I Указом правительствующего Сената была учреждена Российская академия наук.

Во все времена наука играла роль, которую трудно переоценить. Сегодня, на мой взгляд, наше общество расстается с иллюзиями о том, что в условиях демократии не очень нужны экономическая мощь, высокий научный потенциал и наши морально-нравственные ценности. Более того, события последних двух десятилетий не дают повода считать анахронизмом слова из басни И.А. Крылова «У сильного всегда бессильный виноват» и заставляют не забывать мысль Российского императора Александра III «У России есть только два союзника: армия и флот».

Нашему Институту инженерной физики уже более 20 лет, причем почти все они были непростыми. Успехи впечатляют – за этот короткий срок мы прошли путь от весьма скромной научной организации с небольшой экспериментально-лабораторной базой до научного, образовательного и производственного учреждения, признанного в России, со штатом порядка 700 человек, имеющего высокий научный потенциал, солидный имущественный комплекс и своим трудом добившегося всего необходимого для дальнейшего развития по инновационному пути.

Одной из главнейших очередных задач Института на ближайшие годы является создание современной производственной базы, масштабное освоение производства и поставок на рынок, в том числе и в рамках гособоронзаказа, наших разработок. Конечно, на этом пути нас ожидают новые трудности, но, как известно, дорогу осилит идущий.

Старшее поколение ученых и специалистов МОУ «ИИФ» хорошо помнит, каким энтузиазмом и гордостью за результаты своего труда была наполнена их учеба, работа и служба в войсках, на полигонах, в НИИ и вузах. Сейчас мы с удовлетворением осознаем, что заложенный со времени основания Института уклад жизни, направленный на научный и профессиональный рост всех сотрудников, позволил нам, пусть и с трудностями, но обеспечить преемственность поколений. Другими словами, нас объединяет радость научного творчества. Это основа нашей уверенности в достойном будущем и нашей страны, и нашего Института.

С праздником, дорогие друзья, с Днем российской науки!

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 536.5

НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ

Евгений Ильич Маевский

*лауреат премии Правительства РФ
в области науки и техники по медицине,
доктор медицинских наук, профессор*
заместитель директора по научной работе
Институт теоретической и
экспериментальной биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл.,
г. Пущино, ул. Институтская, д. 3

Лариса Николаевна Хижняк

кандидат медицинских наук
старший научный сотрудник
Институт теоретической и
экспериментальной биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл.,
г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(4967)73-25-80

Сергей Владимирович Смуров

доктор технических наук, профессор
Первый заместитель генерального директора
по научной работе –
главный конструктор МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Евгений Павлович Хижняк

доктор физико-математических наук
ведущий научный сотрудник
Институт теоретической и
экспериментальной биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл.,
г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(4967)73-25-80

В работе проведен анализ опыта применения инфракрасной (ИК) термографии в медицинской практике от момента создания первых ИК камер до сегодняшнего дня. Рассмотрены проблемы, сдерживающие широкое внедрение данного метода диагностики. Показано, что основные причины недоверия к данному методу связаны с недостаточной чувствительностью и низким пространственным разрешением инфракрасных камер, которые до недавнего времени использовались в медицине, и отсутствием четкого ответа на вопрос о соотношении температурных распределений на поверхности тела человека и анатомическими структурами, расположенными на определенной глубине. Рассмотрены проблемы количественных температурных измерений с помощью неохлаждаемых ИК камер на основе матриц микроболметров на диапазон 8-12 мкм. Показано, что такие ИК камеры могут с успехом применяться для диагностики многих заболеваний. Создание портативных диагностических ИК систем (включая персональные) на базе неохлаждаемых ИК камер является вполне реальной задачей. Такие системы еще более расширят сферу применения ИК термографии в медицинских учреждениях первичного звена, а с развитием телемедицины – процесс первичного обследования может проводиться в полевых и даже домашних условиях. Рассматриваются задачи, которые необходимо решить для создания полноценного диагностического инструмента врача.

Detailed analysis of the history of diagnostic applications of infrared (IR) thermography in medicine from first IR cameras to present day technology is

presented. Several problems hindering the wide introduction for use of this diagnostic imaging method are considered.

It has been shown that the main reason for mistrust of this method is related to the insufficient sensitivity and low spatial resolution of infrared cameras which until recently were used in medicine and due to the absence of a clear answer to the question of the relationship between the temperature distribution on the surface of the human body and the anatomical structures located at a certain depth from the skin.

The problems of quantitative temperature measurements using an uncooled microbolometer FPA infrared camera in the 8-12 microns spectral window of sensitivity are discussed. It is shown that such cameras could be successfully used for the diagnosis of many diseases. Creating a portable diagnostic IR system (including a personal one) based on uncooled IR cameras is a realistic task with present technology. Such systems would further extend the areas of application of IR thermography in primary health care facilities, and with the development of telemedicine could make it possible to perform the process of initial diagnostic imaging outside of the hospital and even at home.

Several tasks that should be solved in order to create a valuable diagnostic tool for the medical doctor are considered.

Ключевые слова: температура, медицинская диагностика, инфракрасная термография, обработка изображений.

Key words: temperature, diagnostic imaging, infrared thermography, image processing.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Температура является важнейшей характеристикой состояния здоровья человека. Медицинский термометр уже давно стал первичным инструментом диагностики заболеваний. Однако существует целый ряд заболеваний, при которых интегральная температура тела человека остается нормальной, а меняется только локальная температура в области проекций патологических процессов. Пространственное распределение температур на поверхности тела позволяет получить информацию о локализации патологических процессов, которые могут быть связаны с различными формами нарушений кровотока, воспалительными процессами, спазмом, локальными нарушениями метаболизма и иннервации биологических тканей, развитием онкологических новообразований [28].

Инфракрасная (ИК) термография является наиболее совершенным методом неинвазивной дистанционной регистрации пространственного распределения температур (максимум энергетической светимости тел с поверхностной температурой в районе 20-40°C лежит в области 10 мкм).

Этот метод диагностики абсолютно безопасен для человека благодаря отсутствию какого-либо воздействия в процессе обследования: в основе метода лежит принцип регистрации температурных распределений по собственному тепловому излучению объектов в ИК диапазоне длин волн. Поэтому он может без каких-либо ограничений использоваться в ходе профилактических обследований пациентов с целью раннего выявления патологических процессов, включая дерматологические и инфекционные заболевания, передающиеся контактным путем.

Инфракрасные камеры (тепловизоры) применяются в качестве диагностических инструментов в медицинской практике более 40 лет [4-7, 10-11, 20-22, 24, 29, 31]. Однако до последнего времени дискуссионным оставался вопрос о диагностической надежности и, следовательно, о ценности и необходимости такого метода.

Основная причина недоверия к методу ИК термографии связана с низкой чувствительностью и недостаточно высоким пространственным разрешением ИК камер, которые до недавнего времени использовались в медицине [10-11].

Кроме того, открытым оставался вопрос о соотношении между термографической картиной на поверхности тела и анатомическими структурами, участвующими в развитии патологического процесса, тем более при его

расположении на определенной глубине. Не решен был вопрос о возможности количественных температурных измерений, поскольку тепловизоры изначально разрабатывались в основном для визуализации тепловых источников, а не для измерительных целей.

Немаловажным фактором, сдерживающим широкое применение метода ИК термографии в медицинской диагностике, оказалась очень высокая стоимость высокочувствительных ИК камер с большим пространственным разрешением и достаточно высокой скоростью регистрации.

К настоящему времени большинство проблем, сдерживающих широкое применение метода ИК термографии в медицине, успешно преодолены [1-3, 8, 12-18, 28].

Снято недоверие к методу, связанное с низкой чувствительностью и недостаточным пространственным разрешением ИК камер [2-3, 12-18, 30-34]. На рынке появились ИК камеры на основе матриц фотоприемников размером 320x240 и 640x480. Такого пространственного разрешения вполне достаточно для медицинской диагностики. Лучшая чувствительность и большая скорость регистрации матричных ИК камер (по сравнению с ИК камерами на основе одноэлементных ИК фотоприемников) обусловлена одновременной регистрацией ИК изображения в пределах одного кадра всеми элементами матрицы ИК фотоприемников. Это позволяет существенно (а именно в $N \cdot M$ раз, где $N \cdot M$ – размер матрицы) увеличить время интегрирования ИК излучения в пределах одного кадра.

Существуют два типа матричных ИК камер: охлаждаемые и неохлаждаемые. Современные охлаждаемые ИК камеры, фотоприемники которых работают при температуре жидкого азота (-196°C), могут работать в диапазонах 3-5 и 8-12 мкм и обеспечивают чувствительность (ограниченную температурным эквивалентом шума) 0,007-0,015°C при скорости регистрации до 400 кадров в секунду. При компьютерной обработке



Рис. 1. Термограммы, зарегистрированные при открытом и закрытом состоянии потовых протоков (пор)

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

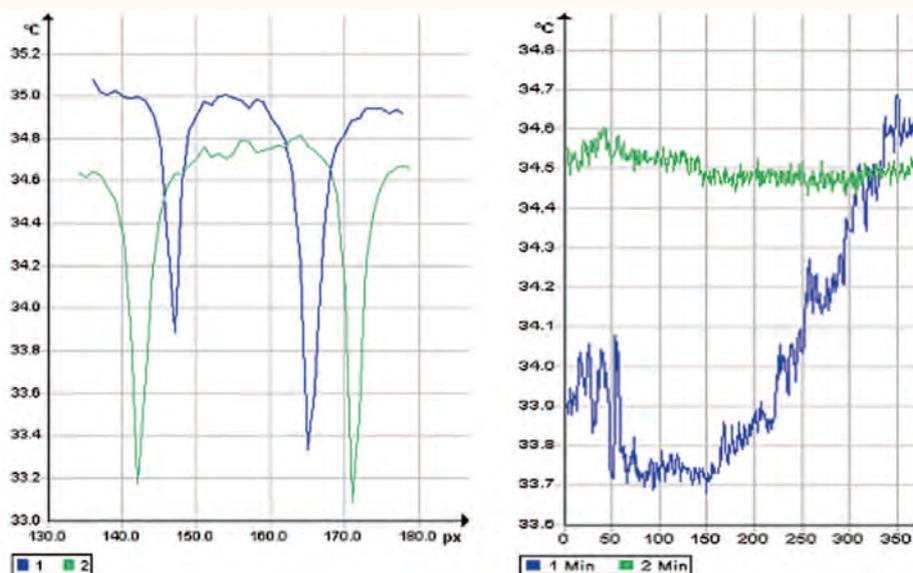


Рис. 2. Слева – температурные профили через область каналов потовых протоков в открытом состоянии (минимумы соответствуют области пор). Справа – температурная динамика в процессе перехода потовых протоков из открытого состояния в закрытое на интервале 7 секунд: кривая 1 – область потового протока, обозначенная цифрой «1» на рисунке 1, кривая 2 – вне области потового протока, обозначенная цифрой «2» на рисунке 1.

ИК изображений чувствительность может быть повышена до тысячных долей градуса при скорости 25-50 кадров в секунду. Чувствительность и пространственное разрешение таких ИК камер настолько высоки, что они позволяют в реальном времени регистрировать процесс открытия-закрытия одиночных каналов потовых протоков (пор) на поверхности кожи (рисунки 1 и 2) [13-19, 28].

Учитывая, что процесс открытия-закрытия потовых протоков имеет нейрофизиологический механизм регуляции, приведенные на рисунках 1 и 2 результаты демонстрируют возможность применения современных матричных ИК систем для регистрации нейрофизиологических реакций организма при функциональных нагрузках, в стрессовых ситуациях и при действии внешних раздражителей. Такие тесты могут обеспечить формирование более точных критериев отбора при оценке профессиональной пригодности лиц, работа которых связана с принятием критически важных решений в сложных ситуациях.

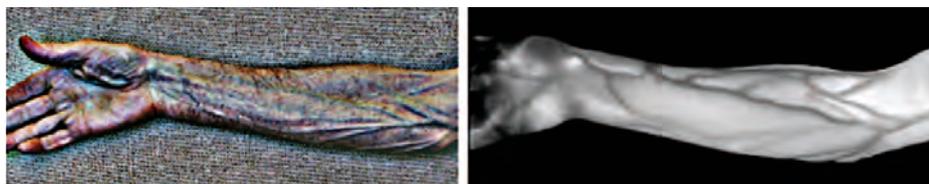


Рис. 3. Слева – видимое изображение, справа – ИК изображение

В последние годы нами решен вопрос о соотношении между термографической картиной на поверхности тела и анатомическими структурами, которые расположены на определенной глубине от поверхности кожи. Установлено, что важную роль в формировании тепловой картины на поверхности тела играет капиллярный кровоток, обеспечивающий гораздо лучшую передачу тепла по сравнению с классической теплопроводностью гомогенных тканей [18]. Капилляры в данном случае играют роль тепловых волноводов, обеспечивающих

достаточно точное соответствие пространственного распределения поверхностных температур анатомической структуре сосудов (рисунк 3).

ИК термография позволяет вывести на новый уровень проблему ранней диагностики и объективной оценки эффективности лечения сосудистых заболеваний, таких как диабетическая ангиопатия, облитерирующий атеросклероз и эндартериит, болезнь Рейно, варикозная болезнь, а также ряда физиологических и патологически функциональных изменений кровотока – вазоконстрикции при курении и переохлаждении, вазодилатации при отравлениях, анафилактикоидных реакциях и в условиях использования специфических сосудорасширяющих средств. Особенно важно применение именно ИК термографии в диагностике сосудистых заболеваний, которые относятся к группе социально значимых широко распространенных видов патологий. Они занимают устойчивое первое место в мире по заболеваемости и смертности, причем частота возникновения сосудистых заболеваний в последнее время постоянно растет [25-27].

Варикозным расширением вен страдают более 50% женщин России, причем более 80% из них имеют запущенные формы заболевания.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Атеросклероз (хроническая болезнь артерий, постепенно приводящая к сужению просвета сосудов и нарушению их функций) поражает в основном мужчин старше 40 лет, курящих, ведущих малоподвижный образ жизни, страдающих ожирением. У таких пациентов часто отмечается сахарный диабет и артериальная гипертензия. В результате развития склеротических процессов кровотока по артериям становится недостаточным, нередко вызывая тяжелую ишемию нижних конечностей [9]. Осложнения от запущенных форм этого заболевания нередко приводят к гангрене и, как следствие, к ампутации нижних конечностей [25-27].

Облитерирующий атеросклероз сосудов нижних конечностей характеризуется резким снижением температуры в области от нижней трети голени до пальцев стопы. При полутоновой температурной шкале от 30 до 38°C на термограммах не просматривается область нижних конечностей от нижней трети голени до пальцев стопы (возникает так называемый «эффект ампутации пальцев или стопы»), при этом гистограммы температурных распределений расширяются в сторону низких значений температур (рисунк 4).

Степень поражения сосудов может оцениваться по двум диагностическим критериям: перепаду температур от области голени до пальцев стопы и гистограмме температурных распределений по области голень-стопа [13, 28].

Применение процедуры нагрузочной пробы в ходе термографических обследований расширяет информативные возможности дифференциальной диагностики состояния кровоснабжения различных участков нижних конечностей, а также – контроля эффективности лечения заболеваний, обусловленных сосудистой недостаточностью. На рисунке 5 приведены термограммы области ног пациента, страдающего облитерирующим атеросклерозом сосудов нижних конечностей, до и после нагрузочной пробы.

В норме нагрузочная проба не приводит к видимым различиям в температурных распределениях до и после нагрузки, за исключением

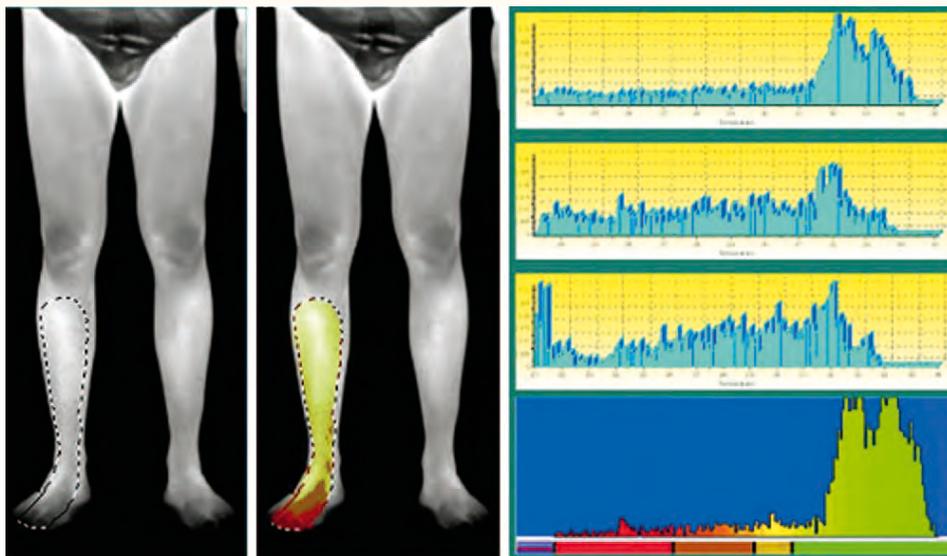


Рис. 4. ИК термограммы нижних конечностей пациента, страдающего облитерирующим атеросклерозом сосудов в стадии II-Б, и гистограммы температурных распределений в зависимости от степени поражения сосудов. Цветом выделены патологические области с разными стадиями заболевания.

сравнительно небольших повышений температур (0,1-0,3°C) в области мышц, непосредственно вовлеченных в нагрузочные упражнения. При сосудистой недостаточности наблюдается эффект снижения температур в области ног наряду с резким увеличением температурного контраста в области сосудов. Классификация хронической артериальной недостаточности нижних конечностей по тяжести заболевания определяется по расстоянию, которое может пройти пациент до возникновения болевых ощущений, то есть в основе классификации присутствует субъективный фактор. Скорость изменений температуры и температурного контраста при нагрузочной пробе являются объективными показателями, которые могут успешно использоваться для определения стадий заболевания.

Основная причина тяжелых осложнений сосудистых заболеваний обусловлена несвоевременным выявлением и трудностями объективной оценки начальных стадий сосудистых пато-

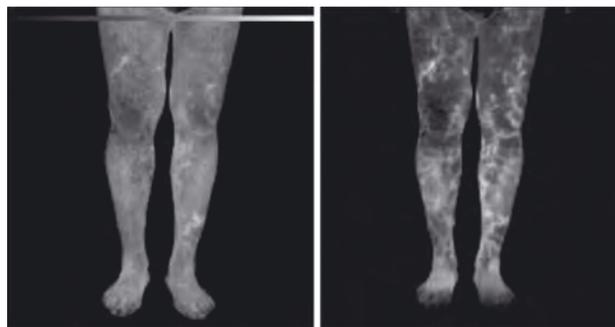


Рис. 5. ИК термограммы пациента до и после нагрузочной пробы [13]

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

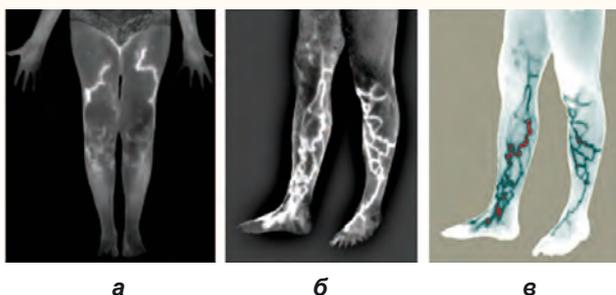


Рис. 6. Термограммы нижних конечностей при варикозном расширении вен: (а) – в бедренной области, (б) и (в) – в области голени. Термограмма (в) – результат математической обработки термограммы (б) методом нелинейного контрастирования с выделением участка перфорантных вен.

логий. Именно поэтому ранняя диагностика сосудистых патологий является одной из наиболее важных задач современной медицины. Данная задача должна решаться при профилактических обследованиях, при которых метод ИК термографии практически незаменим. Он может использоваться в качестве одного из наиболее эффективных и удобных диагностических инструментов. Важно отметить, что диагностические критерии, необходимые для раннего выявления сосудистых патологий с помощью метода ИК термографии, на сегодняшний день являются наиболее разработанными именно в России благодаря проведенным нами многолетним, систематическим исследованиям [13-19, 28].

Не менее остро стоит проблема ранней диагностики варикозного расширения вен. Актуальность этой диагностической проблемы связана с тем, что во многих случаях заболевание развивается без видимых начальных проявлений. Поэтому большинство женщин, страдающих этим заболеванием, имеют запущенные формы варикозной болезни [8-12, 17]. Профилактические обследования с применением техники матричной ИК термографии позволяют распознать эту патологию на очень ранних стадиях развития, а результаты сравнительных

повторных термографических обследований делают возможной корректировку процесса лечения.

В норме температура в области проекций вен на поверхность кожи не превышает средние значения температур по соответствующей области нижних конечностей. При варикозном расширении вен температура в области проекций пораженных сосудов превышает средние значения температур по соответствующей области в норме на 2-4°C в зависимости от стадии заболевания. На рисунке 6 приведен пример ИК термограмм нижних конечностей пациентов, страдающих варикозным расширением вен. ИК термограммы зарегистрированы с помощью матричной охлаждаемой ИК камеры на спектральный диапазон 3-5 микрон с чувствительностью 0,007°C и пространственным разрешением 320×240.

Сравнительные исследования, проведенные нами с использованием двух методов: ИК термографии и ультразвуковой диагностики, выявили и доказали возможность обнаружения патологических сосудов на глубине до 2-2,5 см с помощью ИК термографии. Патологические сосуды в бедренной области (рисунке 6 а), расположенные на достаточно большой глубине от поверхности тела, практически невозможно выявить при визуальном обследовании пациентов. Метод ИК термографии позволяет не только обнаруживать такие сосуды, но и с высокой точностью определить их границы, что существенно облегчает как проведение детальных ультразвуковых обследований пациентов с такими заболеваниями, так и последующее оперативное вмешательство [18].

Термографический паттерн патологических сосудов имеет принципиально важное значение при планировании хирургических операций, в особенности при достаточно сложных случаях варикозного расширения вен [1, 8, 23, 25-27].

Пример такого случая приведен на рисунке 7.

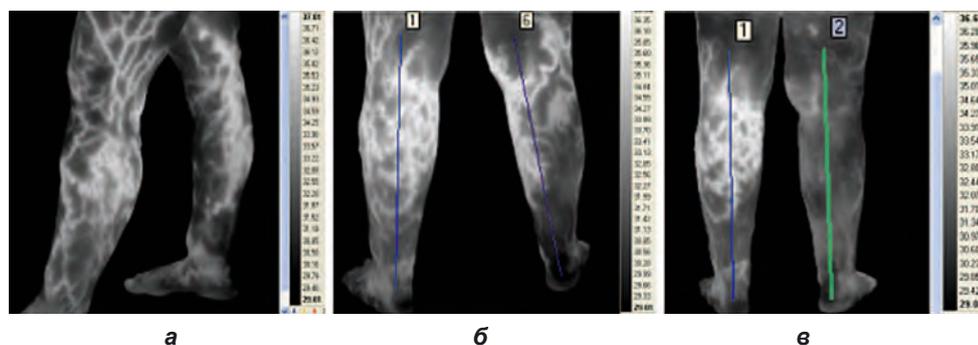


Рис. 7. ИК термограммы нижних конечностей пациента при сложном случае варикозного расширения вен: а и б – до проведения хирургической операции в области голени правой ноги, в – после хирургической операции

Необходимо отметить, что в приведенном случае большая часть пораженных сосудов не выявляется при визуальном обследовании, а ультразвуковое исследование чрезвычайно затруднено из-за сложности интерпретации получаемой картины и недостаточно-

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

го разрешения близко расположенных пораженных сосудов. Спланировать хирургическую операцию без результатов термографических обследований в таких случаях достаточно сложно. Причем послеоперационные рецидивы наиболее часто возникают именно в тех случаях, когда часть пораженных сосудов ошибочно не была удалена в ходе первой операции.

Отсюда ясна важность точного определения области вен, затронутых варикозной болезнью. Это одна из наиболее важных задач предоперационного обследования пациентов и планирования хирургических операций, которая может быть решена методом ИК-термографии [25, 28].

Послеоперационное термографическое обследование дает возможность определить степень успешности выполненной операции, выявить рецидивы и остаточные воспалительные процессы как по ИК термограммам (рисунки 7, б и в), так количественно по температурным профилям (рисунок 8).

Приведенные на рисунке 8 результаты были получены с использованием прецизионных охлаждаемых ИК камер, стоимость которых по сей день остается неприемлемо высокой для лечебно-профилактических учреждений, что существенно ограничивает широкое внедрение метода ИК диагностики в здравоохранение. Использование неохлаждаемых ИК камер открывает возможность для существенного расширения сферы их применения в медицинской практике, поскольку их стоимость на порядок ниже стоимости охлаждаемых инфракрасных диагностических систем.

Современные неохлаждаемые ИК камеры на основе матриц микроболометров, работающие в диапазонах 7-14 и 8-12 мкм, имеют чувствительность 0,03-

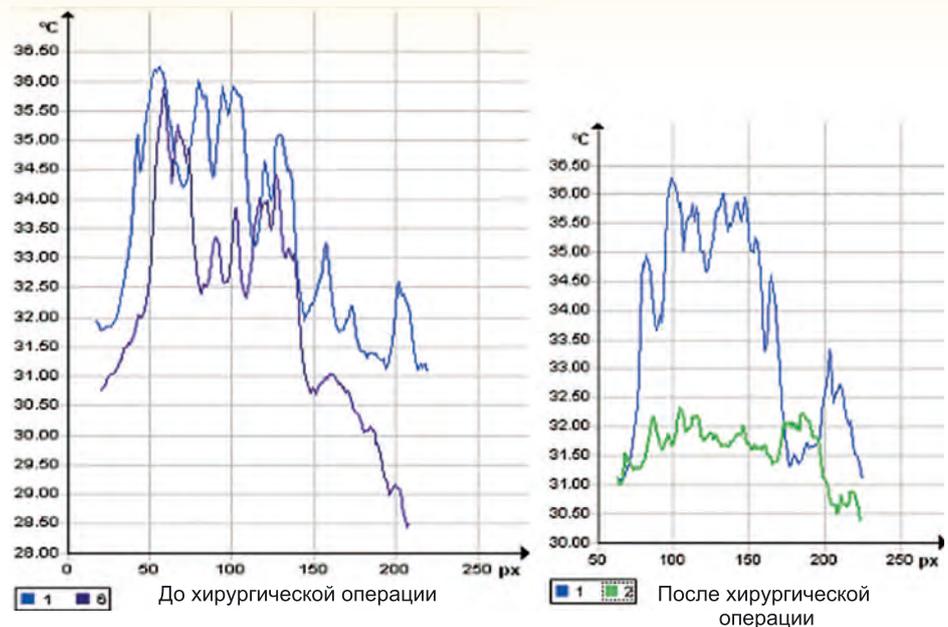


Рис. 8. Температурные профили по линиям, обозначенным на рисунке 7б и в, зарегистрированные до и после хирургической операции правой ноги

0,05°C при скорости 50 кадров в секунду, что вполне достаточно для решения большинства диагностических задач.

В 2014 году появились портативные ИК камеры, стоимость которых сравнима со стоимостью сотовых телефонов.

Таким образом, проблема дороговизны ИК камер, которые не могли из-за этого широко использоваться в медицинской диагностике, снята с повестки дня. На базе неохлаждаемых ИК камер последнего поколения могут быть созданы портативные диагностические системы, которые могут применяться как в медицинских учреждениях первичного звена (районных и сельских поликлиниках), так и в полевых условиях и в машинах скорой помощи.

В перспективе – создание персональных диагностических ИК систем, которые могут быть использованы в домашних условиях. При этом

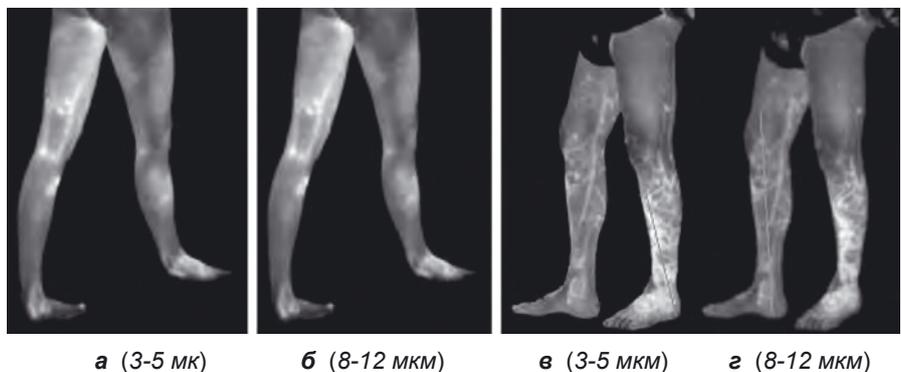


Рис. 9. Сравнительные термограммы, зарегистрированные с помощью охлаждаемой ИК камеры на диапазон 3-5 микрон и неохлаждаемой ИК камеры на диапазон 8-12 мкм

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

для первичного обследования человеку не обязательно посещать поликлинику, зарегистрированные ИК термограммы могут быть переданы для анализа врачу по интернету.

Для сравнения диагностических возможностей современных охлаждаемых и неохлаждаемых ИК систем нами были проведены экспериментальные исследования с синхронным использованием ИК камер двух типов [16]. Обследовались пациенты, страдающие варикозным расширением вен и облитерирующим атеросклерозом. Результаты приведены на *рисунке 9*.

Представленные термограммы (*рисунк 9 а, б*) зарегистрированы у пациентки в возрасте 25 лет, страдающей варикозным расширением вен в области левой ноги, являются примером распознавания заболевания на ранней стадии, при которой еще нет каких-либо видимых проявлений на поверхности нижних конечностей.

Приведенные на *рисунке 9* сравнительные результаты показывают, что неохлаждаемые ИК системы могут с успехом применяться для диагностики сосудистых заболеваний. Однако для широкого применения неохлаждаемых ИК камер в медицине необходимо решить две задачи:

- разработать специализированные ИК системы, отвечающие всем медико-техническим требованиям к оборудованию для медицинской диагностики;
- разработать технологию и протоколы применения таких систем для конкретных типов диагностических задач.

Решение первой задачи сводится к стыковке одной из стандартных ИК камер с системой регистрации и обработки ИК данных. В качестве последней может быть использован персональный или планшетный компьютер (в случае портативной ИК системы может быть использован даже смартфон).

Решение второй задачи требует целого ряда методических разработок. Дело в том, что практически все методические указания по использованию метода ИК термографии в медицине разработаны с использованием охлаждаемых ИК камер на диапазон 3-5 микрон. Неохлаждаемые ИК камеры разрабатывались главным образом для визуализации объектов (целей), а не для измерений, и такие ИК камеры до последнего времени широко не применялись в медицинской диагностике. Необходимо оценить возможность использования неохлаждаемых микроболометрических ИК камер при проведении количественных измерений и разработать соответствующую методику для конкретных диагностических задач.

Задача температурных измерений является наиболее сложной и дискуссионной, имеет ряд технических и методических аспектов. Принятая в медицинской практике точность измерения температур составляет 0,1°C. Вопрос заключается в том, нужна ли такая точность для термографических обследований? Если нужна, то в каких случаях? И второй вопрос – могут ли современные неохлаждаемые ИК системы обеспечить столь высокую точность измерений?

Высокая точность определения абсолютных значений температур необходима, прежде всего, при диагностике локальных воспалительных процессов. Указанную точность измерений могут обеспечить лишь уникальные, дорогостоящие, охлаждаемые, радиометрические ИК системы. Большинство современных матричных ИК камер обеспечивает точность абсолютных температурных измерений порядка 1-2°C в режиме прямой регистрации. Однако это не означает, что недорогие ИК системы не могут применяться для высокоточных температурных измерений.

Точность измерений может быть существенно улучшена методом текущей коррекции температурных измерений с использованием реперных температурных образцов, расположенных в поле зрения ИК камер. Такой метод позволяет существенно уменьшить влияние окружающих условий (температуры в помещении, отопительных приборов и других источников ИК излучений, включая самого врача) на результаты измерений [28].

При проведении термографических обследований необходимо иметь в виду, что ИК системы регистрируют собственное ИК излучение исследуемых объектов, которое зависит не только от температуры, но и от ряда других параметров.

Регистрируемое ИК камерой излучение Q определяется выражением:

$$Q = \tau_{\text{атм}} [\epsilon f(T_{\text{об}}) + (1 - \epsilon) f(T_{\text{окр}})] + (1 - \tau_{\text{атм}}) f(T_{\text{атм}}) \quad (1)$$

где Q – энергия ИК излучения;

$\tau_{\text{атм}}$ – коэффициент пропускания атмосферы;

ϵ – излучательная способность исследуемого объекта;

$T_{\text{об}}$ – температура объекта;

$T_{\text{окр}}$ – температура окружения объекта;

$T_{\text{атм}}$ – температура атмосферы;

$f(n)$ – калибровочная функция, индивидуальная для каждого элемента матрицы ИК фотоприемников.

Все величины температур в градусах Кельвина.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

При этом
 $\tau_{атм} = \exp(\alpha d)$,
где α – коэффициент затухания [km^{-1}];
 d – расстояние от объекта до камеры [km].

При малых расстояниях до объекта измерений (порядка нескольких метров), поправкой на затухание атмосферы можно пренебречь. В этом случае формула (1) приобретает более простой вид:

$$Q = \varepsilon \alpha (E_{об}) + (1 - \varepsilon) \alpha (E_{окр}) \quad (2)$$

Из упрощенной формулы (2) следует, что измеряемая ИК камерой величина зависит от температуры объекта $T_{об}$, его излучательной способности ε и от температуры окружения $T_{окр}$. При этом важно иметь в виду, что температура окружения $T_{окр}$ не обязательно должна быть равна температуре воздуха в помещении. Обычно, при проведении термографических обследований значения поверхностных температур исследуемых объектов рассчитываются при условии $\varepsilon = 0,95$ (когда 95% ИК излучения обусловлены собственным излучением объекта, а 5% - за счет отражения от внешних источников). Однако в реальных случаях значения ε для кожи человека могут варьировать от 0,76 (в случае сухого эпидермиса) до 0,98 (в случае влажного участка кожи). При использовании косметических средств величина ε может уменьшаться до значения 0,5 и ниже [17].

Так, например, для участка кожи, имеющего температуру 38°C , идеально откалиброванная ИК система зарегистрирует излучение с эквивалентной температурой $37,1^\circ\text{C}$ при $\varepsilon=0,95$ и $T_{окр}=20^\circ\text{C}$. Тогда как при $\varepsilon=0,76$ и $T_{окр}=20^\circ\text{C}$ будет зарегистрировано излучение с эквивалентной температурой $33,7^\circ\text{C}$. Таким образом, один и тот же участок тела при $\varepsilon=0,76$ (сухой эпидермис) будет выглядеть на $3,4^\circ\text{C}$ холоднее по сравнению со случаем, когда величина $\varepsilon=0,95$ (влажная кожа). Иными словами, «температурные различия» на термограммах могут быть обусловлены как истинной разницей температур, так и неоднородностью излучательной способности в разных участках тела, в частности связанной с различной влажностью поверхности.

Кроме того, необходимо учитывать, что $T_{окр}$ зависит от наличия, температуры и места расположения посторонних источников теплового излучения вблизи пациента (включая и самого врача, который так же является посторонним источником). Посторонние источники теплового излучения могут оказывать существенное влия-

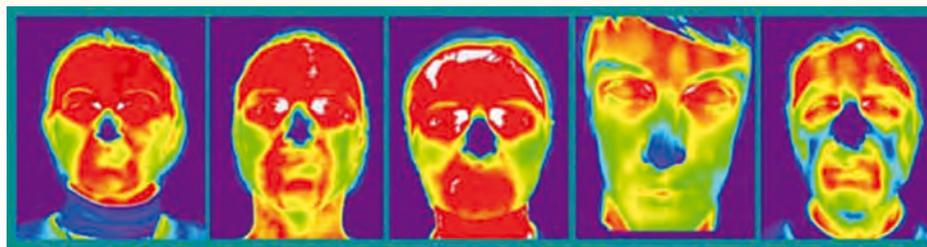


Рис. 10. Вариации температурных портретов лица человека в норме. Белым цветом отмечены области максимальных значений температур

ние на результаты термографических обследований. Например, для участка тела с температурой $T_{об}=38^\circ\text{C}$ и $\varepsilon=0,76$, его эквивалентная температура на термограмме будет равна $38,5^\circ\text{C}$ при действии внешнего источника излучения с температурой 40°C , то есть такой участок тела будет выглядеть на $4,8^\circ\text{C}$ теплее по сравнению со случаем, когда $T_{окр}=20^\circ\text{C}$. Более того, в присутствии внешнего источника излучения участок тела с $\varepsilon=0,76$ будет выглядеть на термограмме на $0,4^\circ\text{C}$ теплее участка с $\varepsilon=0,95$. В случае, когда посторонние источники теплового излучения расположены с одной стороны от пациента, может возникать артефакт температурной асимметрии.

Приведенные примеры демонстрируют необходимость учета величин ε и $T_{окр}$ не только при измерении абсолютных значений температур, но и при определении температурных различий (ΔT) между разными участками тела пациентов, что имеет важное диагностическое значение.

Необходимо отметить, что при условии $T_{окр}=T_{об}$, регистрируемое ИК камерой излучение Q не зависит от излучательной способности ε объектов. Регистрируемые ИК камерой значения Q в такой ситуации могут быть напрямую пересчитаны в абсолютные значения температур с использованием калибровочной функции $f(n)$, которая определяет соотношение между величиной Q и температурой объекта при $\varepsilon=1$ (черного тела). Параметры функции $f(n)$ определяются в процессе калибровки ИК камеры с использованием температурных образцов типа «черное тело». С помощью калибровочной функции $f(n)$ компенсируется пространственная неравномерность и нелинейность чувствительности ИК камеры, причем параметры калибровочной функции индивидуальны для каждого из элементов матрицы ИК фотоприемников. Однако после калибровки неохлаждаемые камеры не позволяют обеспечить необходимую точность измерения абсолютных значений температур из-за дрейфа температурной чувствительности ИК камеры. Для обеспечения точности измерений абсолютных значений температур необходима дополнительная коррекция результатов измерений.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

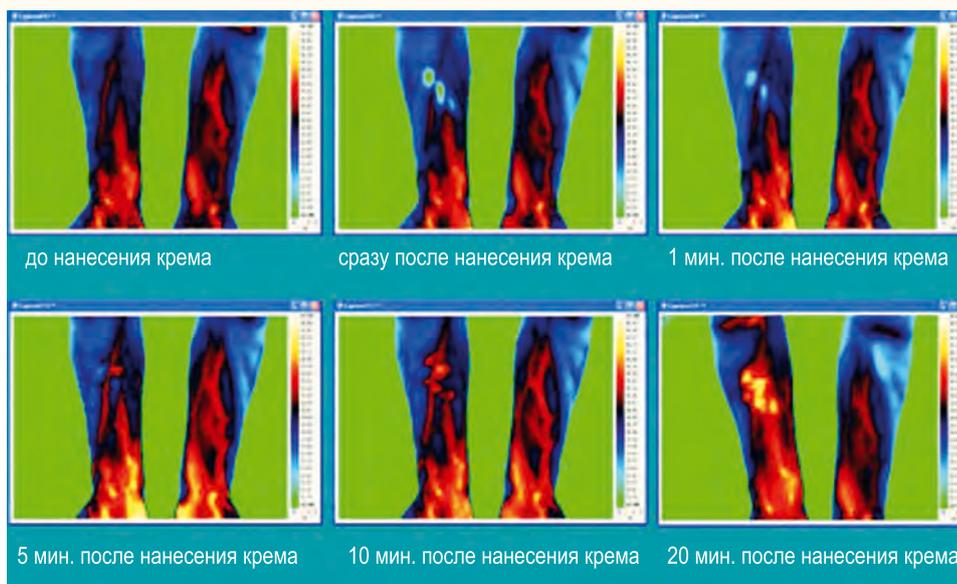


Рис. 11. Температурные изменения во внутренней области предплечья, вызванные локальным нанесением увлажняющего крема в средней части предплечья правой руки

Такая окончательная коррекция, необходимая для абсолютных температурных измерений, может быть выполнена с использованием внешних образцов с заранее известными значениями температуры и излучательной способности, расположенных в поле зрения ИК камеры. Кроме того, ранее нами было показано, что температура в области внутренних уголков глаз человека максимальна и с достаточно высокой точностью соответствует температуре, измеренной стандартным ушным инфракрасным медицинским термометром [14, 17]. На *рисунке 10* приведены варианты температурных портретов лица человека в норме.

Таким образом, температура в области глаз также может использоваться в качестве реперной области с заданным значением температуры. Поправка, необходимая для измерений абсолютных температур, рассчитывается как разность между истинным значением температур в заданной области температурного образца или глаза, и текущим значением температуры в той же области, измеренной с помощью ИК камеры.



Рис. 12. Отклонения от нормы температурных портретов лица при различных видах патологии

При термографических обследованиях необходимо учитывать целый ряд физиологических аспектов, влияющих на распределения температур на поверхности тела. Время пребывания в условиях повышенных или пониженных значений температур, физические и эмоциональные нагрузки, применение косметических средств и т.п. – все эти факторы могут оказывать существенное влияние на температурные распределения на по-

верхности тела человека. Фактически это означает, что абсолютный вариант нормы теплового портрета человека не существует. Существует лишь некоторый диапазон температур для каждого участка тела человека, соответствующий варианту нормы.

В норме температура в области внутренних уголков глаз максимальна, в области носа – минимальна, температура в области щек, как правило, ниже температуры в области лба. При эмоциональных или физических нагрузках температурные портреты могут существенно изменяться. Наглядным примером таких изменений являются эффекты гиперемии, когда человек краснеет, или резко бледнеет при эмоциональных нагрузках. Изменения цвета лица в таких ситуациях обусловлено изменением капиллярного кровотока. Расширение капилляров приводит к покраснению лица, при сужении капилляров человек бледнеет. Изменение капиллярного кровотока в таких случаях приводит к существенному изменению температурных распределений не только в области лица, но и в других участках тела (чаще всего в области рук и ног).

Наличие большой variability температурных распределений важно учитывать при проведении диагностических обследований с использованием метода ИК термографии. Прежде всего, не-

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

обходима адаптация пациентов к условиям, при которых проводятся термографические обследования. Кроме того, всегда следует принимать во внимание, что использование косметических средств может искажать результаты термографических обследований. На *рисунке 11* приведен пример, демонстрирующий динамику изменения температур в области рук после локального нанесения увлажняющего крема [28].

Непосредственно после нанесения крема наблюдается эффект охлаждения кожи в обработанной области. Однако через 5 минут происходит заметное повышение температуры в области нанесения крема. Через 20 минут наблюдается аномально высокая гиперемия в области нанесения крема наряду с развитием генерализованной реакции в области проекций крупных сосудов. Приведенный пример иллюстрирует возможность раннего выявления системных реакций организма на действие косметических средств, в данном случае – развитие аллергической реакции на увлажняющий крем.

Рассмотренные особенности температурных распределений позволяют объяснить низкую достоверность выявления потенциально опасных больных в аэропортах с помощью тепловизоров. Дело в том, что метод выявления больных сводится к определению максимальной температуры в области лица пассажиров, либо в момент их выхода из самолета, либо во время прохождения различных пунктов контроля в аэропорту.

Вероятность ошибок при таких условиях очень высока, как в отношении ложноположительных заключений о наличии заболеваний у пассажиров, так и пропущенных больных. За время пребывания в самолете пассажиры испытывают целый ряд физиологических и эмоциональных нагрузок, обусловленных изменением атмосферного давления, влажности, вибрацией, стрессом, приемом алкогольных напитков во время полета, использованием косметических средств, резким изменением температуры и влажности при выходе из салона самолета. Перечисленные факторы могут приводить к существенным изменениям температурного портрета лица человека, в том числе – к повышению температуры.

Надежность выявления больных может быть повышена за счет использования метода, учитывающего относительные изменения температурных распределений в области лица, характерные для определенных типов заболеваний. На *рисунке 12* приведены варианты температурных портретов лица человека при различных патологиях.

Приведенные термограммы получены в результате компьютерной обработки ИК изобра-

жений. Белым цветом отмечены области с аномальными значениями температур для конкретных участков лица.

Исходя из паттерна областей с аномальными значениями температур, нами было сделано заключение о возможности выявления типа и локализации патологических процессов в области лица и, следовательно, о наличии и типе заболевания.

Одна из наиболее важных и в тоже время наиболее сложных проблем связана с ранней диагностикой рака молочной железы. С самого начала применения тепловизоров в медицине возлагались большие надежды на возможность ИК диагностики в маммологии. Однако до сегодняшнего дня эта проблема остается актуальной и все еще далека от решения. Дело в том, что термографические картины, характерные для рака молочной железы, очень вариабельны. Старые диагностические критерии сформулированы по эмпирическим данным, полученным при использовании ИК камер с низкой чувствительностью и недостаточным пространственным разрешением. Они основаны на том представлении, что в проекции рака молочной железы на поверхность кожи должно формироваться пятно с повышенной температурой. Однако этот критерий оказался недостаточно надежным. Новые критерии ранней диагностики рака молочной железы, учитывающие принципиально новые возможности современных ИК систем, пока находятся в стадии разработки.

Выводы

Накопленный в ходе клинических исследований опыт свидетельствует о перспективности использования современных матричных ИК систем для ранней диагностики воспалительных, сосудистых и онкологических заболеваний, в частности при профилактических обследованиях.

Следует отметить, что многие методические наработки, которые были осуществлены с применением старого поколения ИК камер, остаются актуальными, но их следует адаптировать для современных матричных ИК систем.

Неохлаждаемые матричные ИК системы диапазона 8-12 мкм, хотя и уступают по чувствительности охлаждаемым прецизионным системам, могут с успехом применяться для диагностики воспалительных и сосудистых заболеваний. Важным преимуществом диагностических комплексов на основе неохлаждаемых матричных ИК камер является дешевизна, что позволяет широко использовать их в медицинской практике. Создание портативных диагностических ИК систем (включая персональные) явля-

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ется вполне реальной задачей. Такие системы еще более расширят сферу применения ИК термографии в медицинских учреждениях первичного звена для профилактических обследований населения с целью раннего выявления заболеваний, а также при большом круге плановых обследований в условиях стационара.

Для широкого внедрения неохлаждаемых ИК камер в медицинскую практику необходимо решить следующие задачи:

- разработать специализированные ИК системы, отвечающие всем медико-техническим требованиям к аппаратуре для медицинской диагностики;

- разработать технологию, методики и протоколы применения конкретных типов ИК камер для решения конкретных диагностических задач.

Мы полагаем, что в настоящее время появилась практическая возможность создания инструмента (интерфейса) врача с набором функций, обеспечивающего регистрацию и компьютерную обработку ИК изображений в реальном масштабе времени подобно тому, как это решено для современного диагностического ультразвукового и томографического оборудования.

Литература

1. Богачев В. Ю. Флебосклерозирующее лечение варикозной болезни. Современное состояние вопроса // *Амбулаторная хирургия*, 2001. №2. С. 27-30.
2. Вайнер Б.Г. Матричные тепловизионные системы в медицине // *Врач*, 1999. №10. С. 30-31.
3. Вайнер Б.Г. Медицинское тепловидение высокого разрешения: новые возможности // *Врач*, 1999. №2. С. 25-27.
4. Выховская А.Г., Сандриков В.А., Дмитриев Н.П. Некоторые аспекты клинического применения термографии / *Тепловидение в медицине*. Л., 1972. С. 63-67.
5. Всесоюзная конференция ТеМП-82. Тепловидение в медицине: Тезисы докладов. Л., 1982.
6. Всесоюзная конференция ТеМП-85. Тепловизионная меаппаратура и практика ее применения: Тезисы докладов. Л., 1985.
7. Всесоюзная конференция ТеМП-88. Тепловизионная меаппаратура и практика ее применения: Тезисы докладов. Л., 1988.
8. Замечник Т.В., Ларин С.И. Возможности термографии в диагностике варикозной болезни нижних конечностей // *Флебология*, 2009. №3. С. 10-14.
9. Затевахин И.И. Острая артериальная непроходимость – современные достижения и нерешенные вопросы // *Ангиология и сосудистая хирургия*, 2004. №2. С. 334-335.
10. Зеновко Г.И. Термография в диагностике облитерирующего атеросклероза сосудов нижних конечностей // *Хирургия*, 1982. № 2. С. 96-98.
11. Зеновко Г.И. Термография в диагностике заболеваний вен нижних конечностей // *Хирургия*, 1982. №9. С. 36-39.
12. Зеновко Г.И. Термография в хирургии. М.; Медицина, 1998. 168 с.
13. Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Маевский Е.И., Хижняк Е.П., Хижняк Л.Н. Возможности термографии в современной медицине: исследование пространственного изменения температуры кожи человека при введении перфторана // *ДАН*, 2003. Т. 393. №3. С. 419-423.
14. Иваницкий Г.Р., Хижняк Л.Н., Деев А.А., Крестьева И.Б., Хижняк Е.П. Особенности температурных распределений в области глаз // *ДАН*, 2004. Т. 398. №5. С. 709-714.
15. Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Крестьева И.Б., Хижняк Е.П., Хижняк Л.Н. Влияет ли ритм дыхания на температурный портрет лица человека? // *ДАН*, 2006. Т. 406. №6. С. 840-844.
16. Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Хижняк Е.П., Хижняк Л.Н. Тепловидение в медицине: сравнительная оценка инфракрасных систем диапазонов длин волн 3-5 и 8-12 мкм для диагностических целей // *ДАН*, 2006. Т. 407. №2. С. 258-262.
17. Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Хижняк Е.П., Хижняк Л.Н. Анализ теплового рельефа на теле человека // *Технологии живых систем*, 2007. Т. 4. №5-6. С. 43-50.
18. Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Пашовкин Т.Н., Хижняк Е.П., Хижняк Л.Н., Цыганов М.А. Особенности теплового проявления подкожных источников нагрева на поверхности тела человека // *ДАН*, 2008. Т. 420. № 4. С. 551-555.
19. Мороз В.В., Маевский Е.И., Иваницкий Г.Р., Кармен Н.Б., Богданов Л.А., Лежнева И.Э., Хижняк Е.П., Хижняк Л.Н., Петрова И.Н., Орлов А.А., Суворова Н.В. Эмульсия перфторорганических соединений как средство для лечения нарушений регионального кровотока // *Общая реаниматология*, 2007. Т. 3. №3/1. С. 49-53.
20. Никитин В.А., Токин А.Н., Чистяков А.А., Новожилов В.А. Тепловидение в диагностике сосудистых заболеваний нижних конечностей // *Хирургия*, 1987. №6. С. 58-60.
21. Никулин М.А., Савельев Ю.С. Диагностические возможности тепловидения при заболеваниях сосудов нижних конечностей // *Вестник хирургии*, 1988. №6. С. 43-46.
22. Применение тепловидения в многопрофильных больницах и поликлиниках. Методические рекомендации. / Под ред. д.т.н., проф. М.М. Мирошнишва. Л., 1982. 84 с.
23. Проценко Н.В., Енукашвили Р.И. Врачебные ошибки при хирургическом лечении варикозной болезни // *Советская медицина*, 1985. №6. С. 114-118.
24. Рыбакова А.П. Тепловизионная диагностика ранних форм венозной патологии нижних конечностей при массовом обследовании // *Здравоохранение РСФСР*, 1985. №11. С. 16-19.
25. Савельев В.С. Послеоперационные венозные тромбозы: осложнения: неизбежность или контролируемая опасность? // *Хирургия*, 1999. №6. С. 60-63.
26. Савельев В.С., Гологорский В.А., Кириенко А.И. и др. Флебология: Руководство для врачей. М.: Медицина, 2001. 664 с.
27. Савельев В.С., Степанов Н.В., Кошкин В.М., Сергеева Н.А. Ишемический синдром в хирургии острой непроходимости магистральных артерий конечностей // *Хирургия*, 1990. №2. С. 36-39.
28. Хижняк Л.Н., Хижняк Е.П., Иваницкий Г.Р. Диагностические возможности матричной инфракрасной термографии. Проблемы и перспективы // *Вестник новых медицинских технологий*, 2012. №4. С. 170-176.
29. Anbar M. Computerized Thermography. The Emergence of a New Diagnostic Imaging Modality. // *Int J. Technology Assessment in Health Care*. 1987; 3: P. 613-621.
30. Anbar M. Quantitative Dynamic Telethermography in Medical Diagnosis. CRC Press: Boca Raton 1994, pp 1-180.
31. Borggqvist D., Bornmyr S. New aspects on thermography as a noninvasive diagnostic method for arteriovenous anastomoses in the extremities//*VASA*, 1986. Vol. 15. № 3. P.241-244.
32. Keyserlink J.R., Yu E., Belliveau N. et al. Functional infrared imaging of the breast. // *J. IEEE Engin. Med. Biol.*, 2000. Vol. 19. № 3. P. 30-41.
33. Khizhnyak E.P., Ziskin M.C. Infrared thermography in experimental dosimetry of radio frequency and millimeter wavelength radiation exposure. radio frequency radiation dosimetry // *kluwer academic publishers*, 2000. P. 199-205.
34. Knobel R.B., Guenther B.D., Rice H.E. Thermoregulation and thermography in neonatal physiology and disease // *Biological research for nursing*. 2011. Vol. 13. №3. P. 274-282.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.396.96

ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ МАЛОМ ЧИСЛЕ ОТСЧЕТОВ

Александр Дмитриевич Поздняков

доктор технических наук, профессор

профессор кафедры
радиотехники и радиосистем
Владимирский государственный
университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)47-99-94
E-mail: 11alexpoz@mail.ru

Александр Андреевич Руфов

аспирант кафедры
радиотехники и радиосистем
Владимирский государственный
университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)47-99-94
E-mail: a.a.rufov@list.ru

В работе рассматривается метод интегрирования и алгоритм повышения точности на основе интерполяции в задаче оценки среднеквадратического значения (СКЗ) гармонического сигнала, восстановленного на ограниченном интервале времени функцией $\text{sinc}(x)$. С помощью созданной моделирующей программы определены максимальные погрешности для окон: прямоугольного, синусоидального и Ханна. Даны рекомендации по выбору числа отсчетов и интервалов интерполяции.

In this paper considers the method of integration and algorithm that improve the accuracy based on interpolation in the problem of estimating the RMS value of the harmonic signal reconstructed on limited time interval by function $\text{sinc}(x)$. Using the created simulation program determined the maximum error for window functions: rectangular, sinusoidal and Hannah. Recommendations are given on the choice of the number of samples and interpolation ranges.

Ключевые слова: восстановленный сигнал, интерполяция, оконные функции, погрешность СКЗ, теорема Котельникова.

Keywords: reconstructed signal, interpolation, window function, RMS value's error, sampling theorem.

Одним из направлений цифровой обработки в области измерений является уменьшение погрешности восстановления периодических сигналов ограниченной длительности при малом числе дискретных отсчетов. В частности, задачи измерения среднеквадратических значений (СКЗ) коротких квазипериодических сигналов решаются в цифровой осциллографии (ЦО), звуковой и радиолокации, телеметрии и навигации, мониторинге и испытаниях электронных средств [1, 5-6]. При этом в соответствии с математическим определением понятия СКЗ широко используется метод численного интегрирования сигнала.

В работах Бушуева С.В. и Попова А.Н. [2-4] рассмотрены предельные теоретические погрешности измерения СКЗ ограниченного во

времени гармонического сигнала методом интегрирования без использования сглаживающего окна. Установлено, что если интервал времени интегрирования не равен целому числу, кратному полупериоду сигнала, то полученное значение СКЗ может значительно отличаться от истинного значения, т.е. появляется методическая погрешность, величина которой определяется длительностью интервала измерений и начальной фазой гармонического сигнала. Причем, для получения погрешности на уровне десятых долей процента требуется длительность сигнала до десятков периодов.

Как показали проведенные авторами статьи исследования, величину методической погрешности оценки СКЗ короткого гармонического сигнала можно существенно уменьшить путем

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

восстановления промежуточных точек между дискретными отсчетами функцией sinc(x) с наложением оконной сглаживающей функции и умножением результата интегрирования на весовой коэффициент окна. Для оценки границ методической погрешности в рамках поставленной задачи была создана программа в среде Delphi7, с помощью которой осуществлено компьютерное моделирование измерения СКЗ гармонического сигнала методом интегрирования на ограниченном временном интервале.

Предлагается следующий алгоритм восстановления и измерения СКЗ короткого гармонического сигнала с оценкой методической погрешности, обусловленной приближениями и аппроксимацией функцией sinc(x):

1. Инициализация параметров и задание переменных:

n – число отсчетов, приходящихся на один период сигнала;

$m_{S.min}$ и $m_{S.max}$ – минимальное и максимальное число периодов оцифрованного сигнала;

φ_s – начальная фаза сигнала;

z_{INT} – коэффициент деления интервала времени между отсчетами (для $z_{INT} = 1$ интерполяции нет).

2. Формирование исходного сигнала

$u_s(t) = \sin(2\pi t + \varphi_s)$ и последующая генерация массива данных $X_s[t]$, где $t \in [0; m_{S.min} \cdot n]$.

3. Формирование оцифрованного сигнала

$u_D(k) = \sin(2\pi k + \varphi_s)$ и последующая генерация массива $X_D[k]$, где $k \in [1; m_{S.min} \cdot n]$.

4. Формирование восстановленного сигнала

рядом Котельникова

$$u_v(t) = \sum_{k=0}^{m_{S.min} \cdot n} \left\{ X_D[k] \cdot \frac{\sin[\pi(t-k)]}{\pi(t-k)} \right\}$$

и создание массива данных $X_V[t]$.

5. Расчет шага интерполяции

между двумя соседними отсчетами

$$\Delta t: \tau_{INT} = \Delta t / z_{INT}.$$

6. Формирование сигнала в точках интерполяции

$u_{INT}(\tau_{INT})$, и последующая генерация массива $X_{INT}[\tau_{INT}]$.

7. Формирование массива данных оконной функции

$X_w[t]$. Если окон несколько, то последовательно определяется массив для каждого окна $X_{w1}[t]$, $X_{w2}[t]$ и так далее, до $X_{wr}[t]$, где R – общее количество окон.

8. Генерация массива

$X_p[t]$, который соответствует наложению окна на восстановленный сигнал, т.е. $X_p[t] = X_w[t] \cdot X_V[t]$.

9. Определение СКЗ восстановленного сигнала

$U_{V.RMS}$.

$$U_{V.RMS} = \sqrt{\frac{1}{m_{S.min} \cdot n} \int_0^{m_{S.min} \cdot n} X_p^2[\tau_{INT}] d\tau_{INT}}$$

10. Определение погрешности СКЗ

Δ_{RMS}

$$\Delta_{RMS} = \frac{k_w \cdot U_{V.RMS} - 1/\sqrt{2}}{1/\sqrt{2}} \cdot 100\% ;$$

$$\Delta_{RMS} = (\sqrt{2} \cdot k_w \cdot U_{V.RMS} - 1) \cdot 100\% ,$$

где k_w – весовой коэффициент оконной функции, рассчитываемый экспериментально при больших значениях n .

11. Формирование массива

$X_{RMS}[\Delta_{RMS}]$.

12. Увеличение переменной

$m_{S.min} = m_{S.min} + m_{STEP}$, где m_{STEP} – требуемая величина изменения числа периодов.

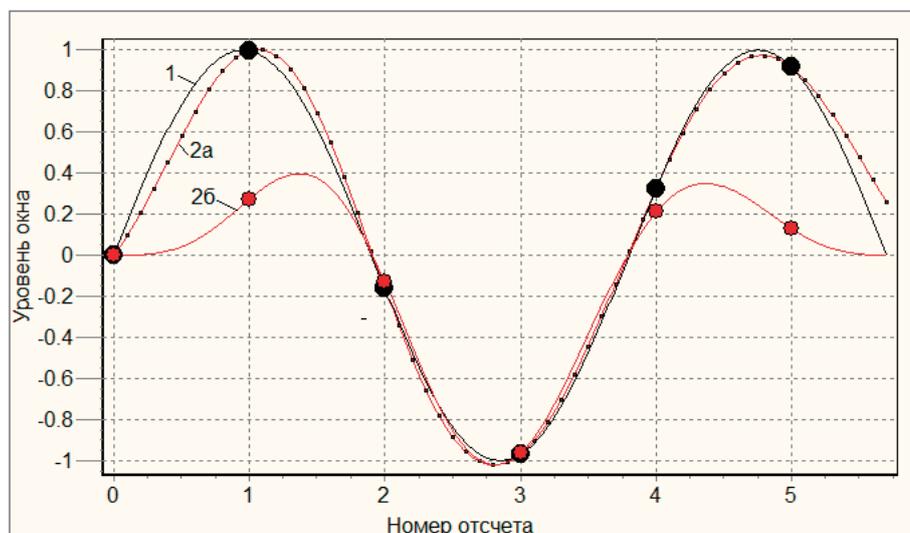


Рис. 1. Исходный (1) и восстановленные сигналы: 2а – без наложения окна при КД=10; 2б – с окном Ханна (интервал 1.5Т, 6 отсчетов)

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

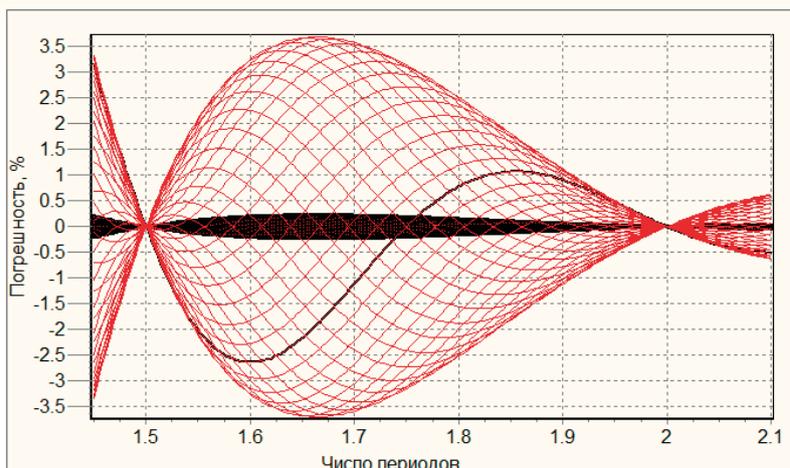


Рис. 2. Погрешность оценки СКЗ сигнала без интерполяции для окна Ханна

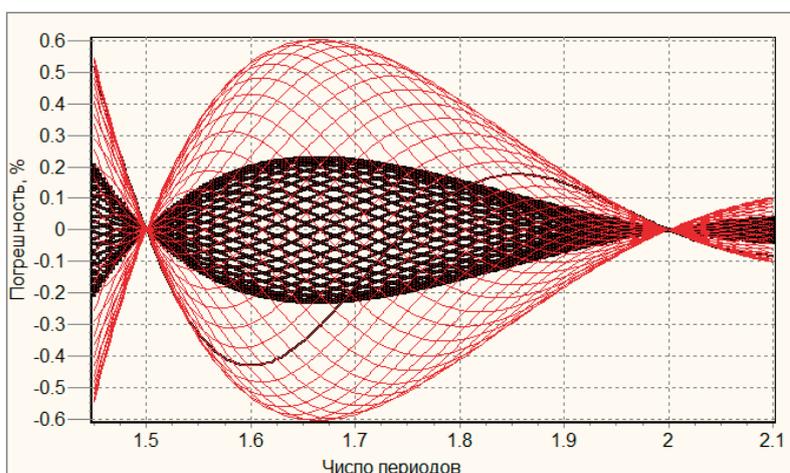


Рис. 3. Погрешность оценки СКЗ сигнала для окна Ханна при $z_{INT}=10$

13. Повторение п.п. 3-13 пока выполняется условие $m_{S.min} \leq m_{S.max}$.

14. Увеличение переменной $\varphi_s = \varphi_s + \varphi_{STEP}$, где φ_{STEP} – требуемая величина изменения начальной фазы.

15. Повторение п.п. 2-15 пока выполняется условие $\varphi_s \leq (360 + \varphi_s)$.

Приведенный алгоритм позволяет оценить погрешность измерения СКЗ в заданном диапазоне числа периодов $[m_{S.min}; m_{S.max}]$ сигнала, а также построить семейство графиков для заданных значений начальной фазы. Можно изменять число периодов сигнала, число отсчетов на период, коэффициент деления (КД), и провести сравнительный анализ эффективности интерполяции гармонического сигнала для базового прямоугольного окна и сглаживающих окон, например, синусоидального и Ханна. На *рисунке 1* представлено окно моделирующей программы с изображением исходного (1) и восстановленных сигналов (2а и 2б) на коротком интервале 1.5Т при 6 отсчетах (черным цветом для сигнала без окна, красным – для сигнала с наложением оконной функции сглаживания).

На *рисунке 2* приведено семейство графиков для окна Ханна, показывающее, что в диапазоне числа периодов сигнала $[1.5; 2]$ Т максимальная погрешность без интерполяции находится в пределах $\pm 3.7\%$.

В режиме интерполяции с КД=10 для того же диапазона числа периодов сигнала максимальная погрешность уменьшилась до $\pm 0.6\%$, т.е. более чем в 6 раз (*рисунк 3*).

Темным фоном на *рисунках 2* и *3* вдоль оси числа периодов показаны зоны минимальной теоретической погрешности. Значение $z_{INT} = 10$ существенно приближает результат оценки СКЗ к максимально достижимой точности. Увеличение количества промежуточных точек позволяет снижать погрешность лишь до определенного уровня, а далее начинает влиять число отсчетов и интервал оценки СКЗ сигнала.

Лучшим из проанализированных является окно Ханна, поскольку оно работает в достаточно широком диапазоне интервалов оценки СКЗ сигнала и обеспечивает высокую точность измерения, что подтверждают графики погрешности, приведенные на *рисунке 4* в логарифми-

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

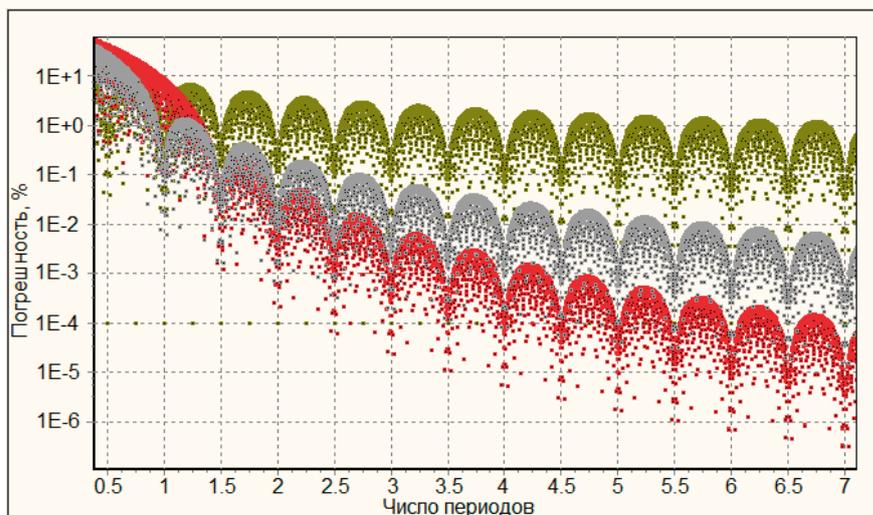


Рис. 4. Погрешность оценки СКЗ сигнала для прямоугольного окна (зеленый), синусоидального окна (серый) и окна Ханна (красный)

ческом масштабе для большей наглядности. Результаты оценки максимальной по модулю погрешности $|\Delta_{RMS,max}|$ при использовании прямоугольного окна для начальной фазы $\varphi_s = 138^\circ$ (наихудший случай) в диапазоне числа периодов от 1 до 2 приведены в *таблице 1*.

Моделирование показало, что нижняя граница работоспособности алгоритма восстановления сигнала находится в области $n=3.8...4$. При увеличении числа отсчетов в 2 раза, т.е. до $n=7.6$, погрешность оценки СКЗ существенно уменьшается только для $z_{INT} < 6$. Для $z_{INT} \geq 6$ от-

Таблица 1

Погрешности для прямоугольного окна при $n=3.8$ и 7.6

Диапазон	Число отсчетов	Модуль максимальной погрешности (в %) для заданного коэффициента деления								
		1	2	4	6	8	12	15	20	30
[1;1.5]	3.8	27.4	17.4	12.5	10.9	10.0	9.19	8.86	8.85	8.84
	7.6	16.1	11.5	9.25	8.48	8.10	7.72	7.56	7.55	7.54
[1.5;2]	3.8	19.4	12.3	8.80	7.64	7.05	6.47	6.24	6.23	6.22
	7.6	11.4	8.12	6.51	5.97	5.70	5.43	5.33	5.32	5.31
[2;2.5]	3.8	14.9	9.49	6.79	5.89	5.44	4.99	4.82	4.81	4.80
	7.6	8.76	6.27	5.03	4.61	4.40	4.16	4.10	4.10	4.09

Таблица 2

Погрешности для синусоидального окна и окна Ханна при $n=3.8$

Диапазон	Окно	Модуль максимальной погрешности (%) для заданного коэффициента деления								
		1	2	4	6	8	12	15	20	30
[1;1.5]	Синус	21.3	11.4	6.44	4.80	3.97	3.15	2.82	2.81	2.80
[1.5;2]	Синус	6.65	3.56	2.03	1.51	1.24	0.99	0.88	0.87	0.86
	Ханна	3.69	1.95	1.12	0.84	0.68	0.55	0.49	0.48	0.47
[2;2.5]	Синус	2.95	1.58	0.90	0.67	0.55	0.44	0.39	0.39	0.39
	Ханна	0.77	0.41	0.24	0.17	0.14	0.11	0.10	0.10	0.09

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

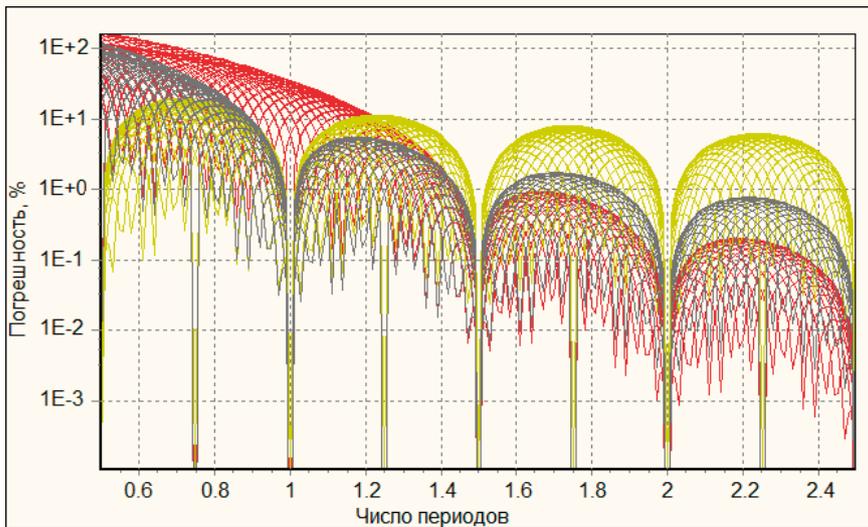


Рис. 5. Погрешность оценки СКЗ восстановленного сигнала для прямоугольного окна (зеленый), синусоидального (серый) и окна Ханна (красный)

личия погрешности оценки СКЗ сигнала, восстановленного по 3.8 и 7.6 отсчетам на период, находятся в пределах 1-2%, следовательно, увеличивать число отсчетов не имеет большого смысла.

Чтобы заметно снизить погрешность оценки СКЗ предлагается использовать сглаживающие оконные функции. Моделирование показало, что на коротких интервалах и при малом числе отсчетов лучше всего работают синусоидальное окно и окно Ханна (таблица 2). Необходимо отметить, что нижняя граница рабочих зон этих окон отличаются: синусоидальное окно работает при $m \geq 1.0T$, а окно Ханна – при $m \geq 1.5T$. Вне рабочей области погрешность резко возрастает.

Оконная функция Ханна, по сравнению с синусоидальной, работает в достаточно широком диапазоне интервалов, обеспечивая меньший уровень погрешности, например, при $z_{INT} = 5$, $n = 3.8$ и $m \in [1.5; 2]$ максимальная погрешность $|\Delta_{RMS, max}| \leq 1\%$ (рисунок 5).

На рисунке 6 приведены полученные в результате моделирования графики погрешности оценки СКЗ сигнала в зависимости от величины

КД для окон прямоугольного (1), синусоидального (2) и окна Ханна (3), из которых следует, что при малом числе отсчетов ($n = 3.8$) и на коротком временном интервале ($m \in [1.5; 2]$), лучшим является окно Ханна.

Выводы

1. Применение сглаживающей оконной функции позволяет существенно снизить погрешности и уменьшить время интегрирования.
2. Величина уменьшения погрешности зависит от вида оконной функции, интервала наложения окна и точности определения весового коэффициента окна.
3. Оконные функции Ханна и синусоидальное работают в достаточно широком диапазоне, обеспечивая приемлемый уровень погрешности.
4. Увеличение числа интервалов интерполяции от 2 до 15 приводит к заметному уменьшению погрешности оценки СКЗ.
5. При коэффициенте деления более 15 снижение погрешности уменьшается до сотых до-

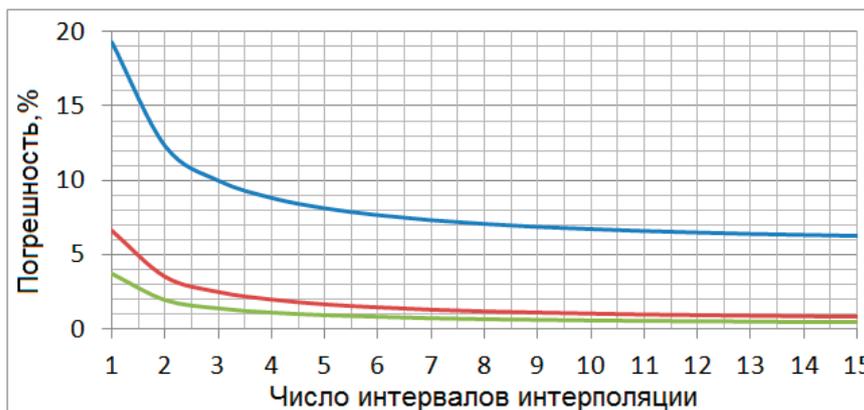


Рис. 6. Влияние числа интервалов интерполяции на погрешность оценки СКЗ сигнала для прямоугольного окна (синий), синусоидального (красный) и окна Ханна (зеленый)

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

лей процента для прямоугольного окна и тысячных долей процента для окон сглаживания.

В практических приложениях на выбор интервала измерения могут влиять ограничения, накладываемые реальными условиями работы и приводящие к возникновению инструментальной погрешности. Например, при измерении СКЗ сигналов, форма которых отличается от синусоидальной, возникает дополнительная погрешность, поэтому результаты, полученные для сигналов синусоидальной формы, не подходят для оценки погрешности измерения СКЗ других сигналов. Существенное влияние могут оказывать шумы и частота дискретизации в цифровых системах.

Литература

1. Пивак А.В. Алгоритмы интерполяции в цифровых запоминающих осциллографах // Компоненты и технологии, 2004. №3. С. 44-46.
2. Бушуев С.В., Попов А.Н. Исследование точности измерений среднеквадратических значений электрических сигналов на ограниченных интервалах времени // Транспорт Урала, 2011. №2(29). С. 46-50.
3. Бушуев С.В., Попов А.Н. Обеспечение сходимости и воспроизводимости измерений сигналов тональных рельсовых цепей // Транспорт Урала, 2012. №3. С. 38-42.
4. Попов А.Н. Методы и реализация автоматизированных измерений сигналов тональных рельсовых цепей: Автореф. дис. канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2013. 16 с.
5. Афонский А.А., Суханов Е.В. Интерполяция в цифровой осциллографии // Контрольно-измерительные приборы и системы, 2010. №5. С. 13-16.
6. Стрелковская И.В., Лысюк Е.В., Золотухин Р.В. Сравнительный анализ восстановления непрерывных сигналов рядом Котельникова и сплайн-функциями // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2013. №2/9. С. 12-15.
7. Поздняков А.Д., Поздняков В.А., Коробов Д.С. Анализ возможностей вычислительного метода определения девиации частоты сигнала на основе преобразований Гильберта и Фурье // Известия Института инженерной физики, 2010. №1(15). С. 33-37.

УДК 621.396.962

РАЗРЕШЕНИЕ ЦЕЛЕЙ ПО УГЛОВЫМ КООРДИНАТАМ В РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ С МОНОИМПУЛЬСНЫМ ПЕЛЕНГАТОРОМ*

Дмитрий Геннадьевич Митрофанов

*заслуженный изобретатель
Российской Федерации,
доктор технических наук, профессор*

профессор кафедры
Военная академия войсковой ПВО ВС РФ им.
А.М. Василевского
Адрес: 214027, г. Смоленск, ул. Котовского, д. 2
Тел. +7(4812)44-57-85
E-mail: mdgvapvo@yandex.ru

Сергей Анатольевич Климов

*кандидат технических наук, доцент
докторант*

Военная академия войсковой ПВО ВС РФ
им. А.М. Василевского
Адрес: 214027, г. Смоленск, ул. Котовского, д. 2
Тел. +7(4812)44-57-85

В статье предложен метод сверхрэлеевского разрешения сигналов групповой цели по направлению прихода для радиолокационной системы с моноимпульсным пеленгатором. Метод основан на разрешении сигналов групповой цели по дальности в каждом пространственном канале, получении независимых оценок комплексных напряжений сигналов в каналах, содержащих информацию об их угловых координатах целей и использовании этих оценок для отдельного вычисления угловых координат. В основе алгоритма пространственного разрешения лежит предположение об идентичности амплитуд сигналов, значений характеристик частотных фильтров и величин временных стробов во всех приемных каналах. Путем имитационного моделирования доказана достаточно высокая эффективность предложенного метода.

In article the method of superrayleigh permission of signals of the group purpose in the arrival direction for the radar-tracking system with a monopulse direction finder is offered. The method is based on permission of signals of the group purpose on range in each spatial channel, receiving independent estimates of complex tension of signals in the channels containing information on their angular coordinates of the purposes and, use of these estimates for separate calculation of angular coordinates. At the heart of algorithm of spatial permission the assumption of identity of amplitudes of signals, values of characteristics of frequency filters and sizes of temporary strobes in all reception canals lies. By imitating modeling rather high efficiency of the offered method is proved.

Ключевые слова: сверхрэлеевское разрешение, моноимпульсный пеленгатор, фазовая суммарно-разностная моноимпульсная система.

Key words: superrayleigh permission, monopulse direction finder, phase total and differential monopulse system.

Радиолокационные системы (РАС) с моноимпульсным методом измерения угловых координат (УК) нашли широкое применение в современных радиотехнических комплексах как гражданского, так и военного назначения.

Как известно, для технической реализации моноимпульсного метода пеленгации необхо-

дим многоканальный прием. Типичная РАС с моноимпульсным пеленгатором (МИП) для измерения УК цели в двух плоскостях одновременно принимает сигнал четырьмя независимыми каналами приема (двумя в азимутальной и двумя в угломестной плоскости пеленгации) [1].

Теоретически доказано [1], что на основе метода функциональной обработки четырехканальная РАС с МИП может разрешать по УК парную групповую цель (ГЦ), когда отдельные цели не разрешаются ни по дальности, ни по

* Исследования выполнены при финансовой поддержке администрации Смоленской области и РФФИ (грант № 13-07-97505).

скорости. Однако практически это реализовать весьма сложно. Основными причинами являются малое число независимых пространственных каналов приема, незнание их реальных амплитудно-фазовых характеристик, а также неидентичность комплексных коэффициентов передачи приемных каналов МИП. Кроме того, на практике в РЛС с МИП требуется разрешать по УК больше, чем две цели, истинное число которых, как правило, неизвестно.

Применение метода максимального правдоподобия для решения задачи разрешения отдельных целей из состава групповой по УК в РЛС с МИП также наталкивается на ряд трудностей. К ним можно отнести требование априорного знания истинного числа разрешаемых целей и точных амплитудно-фазовых характеристик каналов МИП, а также большие вычислительные затраты.

Оригинальный метод решения вышеуказанной задачи был предложен ранее применительно к импульсно-доплеровской РЛС с МИП с цифровой обработкой сигналов [2]. Он основан на допущении об идентичности амплитуд сигналов, значений характеристик частотных фильтров и величин временных стробов в каналах РЛС с МИП. Одинаковость амплитуд обеспечивается одновременным их измерением в каналах МИП, что является одним из главных достоинств моноимпульсного метода измерения угловых координат. Идентичность характеристик частотных фильтров (временных стробов) обеспечивается как за счет одновременного измерения напряжений во всех каналах РЛС с МИП, так и за счет их формирования цифровым способом при помощи одних и тех же алгоритмов. Для реализации метода требуется обеспечить свехрэлеевское разрешение сигналов ГЦ по доплеровской частоте на основе известных методов цифрового спектрального анализа, обладающих такими возможностями. Если сигналы целей совпадают по доплеровской частоте или разрешить их по данному параметру в силу ограниченных возможностей методов цифрового спектрального анализа невозможно, то разрешение отдельных целей по УК из состава ГЦ также становится невозможным.

Таким образом, для РЛС с МИП по-прежнему актуальной остается проблема разрешения по УК отдельных целей из состава ГЦ в условиях, когда их истинное число неизвестно, количество пространственных каналов МИП ограничено четырьмя, сигналы отдельных целей из состава ГЦ не разрешаются по частоте и дальности, а также существуют жесткие ограничения на вычислительные и временные затраты.

Ниже представлен подход, основанный на том, что если в РЛС с МИП обеспечить свехрэлеевское разрешение отдельных целей из состава групповой по дальности, то при сделанных выше допущениях, становится возможным их разрешение и по УК.

Реализовать высокое разрешение по дальности возможно традиционным путем, а именно за счет расширения спектра зондирующего сигнала. На этом принципе, в частности, базируются новые способы формирования радиолокационных изображений [3]. Последние могут использоваться в интересах решения задач распознавания целей [4]. Однако, на практике часто требуется обеспечить свехрэлеевское разрешение по дальности в РЛС, которые должны оставаться в пределах прежних частотных диапазонов. Кроме того, для некоторых типов РЛС существуют и принципиальные ограничения технического характера на располагаемую полосу частот, время принятия решения, максимальные габариты антенны, возможности элементной базы по обработке сигналов и ряд других.

В связи с этим, свехрэлеевское разрешение по дальности предлагается обеспечить на основе метода [5]. Достоинствами упомянутого метода является то, что для своей реализации он не требует расширения спектра зондирующего сигнала, априорного знания истинного числа отдельных целей в составе ГЦ и обладает высокой вычислительной эффективностью, позволяющей его применять в РЛС с МИП в реальном масштабе времени [3].

Рассмотрим четырехканальную активную импульсно-доплеровскую РЛС с МИП. Предположим, что сигнал, отраженный от цели, обнаружен в частотном фильтре с номером k и стробе дальности с номером l . В суммарном и двух разностных каналах РЛС с МИП по известному виду зондирующего сигнала предварительно необходимо сформировать совокупность из P измерительных каналов, каждому из которых соответствует своя импульсная характеристика $f(\alpha_p)$, $p = \overline{1, P}$, P – количество измерительных каналов; α_p – параметр импульсной характеристики (ожидаемое время запаздывания сигнала) для p -го измерительного канала. Выбор числа измерительных каналов P осуществляется исходя из условия $P \geq M$, где M – ограниченное сверху максимальное число разрешаемых целей [3].

При разрешении по дальности совокупность из P измерительных каналов для частотного фильтра с номером k и строба дальности с номером l в суммарном и разностных каналах РЛС с МИП без учета собственных шумов приемной системы можно записать в виде

$$\begin{aligned} \dot{y}_{k,l}^{\Sigma} &= \sum_{p=1}^P \dot{E}_p \dot{f}^{\Sigma}(\beta_p, \varepsilon_p) \dot{f}_k(F_p) \dot{f}(\tau_l + p\Delta\tau) = \\ &= \sum_{p=1}^P \dot{U}_p^{\Sigma}(F_p, \beta_p, \varepsilon_p) \dot{f}(\tau_l + p\Delta\tau), \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \dot{y}_{k,l}^{\Delta\beta} &= \sum_{p=1}^P \dot{E}_p \dot{f}^{\Delta\beta}(\beta_p, \varepsilon_p) \dot{f}_k(F_p) \dot{f}(\tau_l + p\Delta\tau) = \\ &= \sum_{p=1}^P \dot{U}_p^{\Delta\beta}(F_p, \beta_p, \varepsilon_p) \dot{f}(\tau_l + p\Delta\tau), \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \dot{y}_{k,l}^{\Delta\varepsilon} &= \sum_{p=1}^P \dot{E}_p \dot{f}^{\Delta\varepsilon}(\beta_p, \varepsilon_p) \dot{f}_k(F_p) \dot{f}(\tau_l + p\Delta\tau) = \\ &= \sum_{p=1}^P \dot{U}_p^{\Delta\varepsilon}(F_p, \beta_p, \varepsilon_p) \dot{f}(\tau_l + p\Delta\tau), \end{aligned} \quad (3)$$

где \dot{E}_p – ожидаемые комплексные коэффициенты рассеяния (комплексные амплитуды) отдельных целей из состава групповой;

$\dot{f}^{\Sigma(\Delta\beta, \Delta\varepsilon)}(\beta_p, \varepsilon_p)$ – ожидаемые значения комплексных характеристик направленности суммарного, разностных азимутального и угломестного каналов с направлений (β_p, ε_p) прихода сигналов ГЦ; $\dot{f}_k(F_p)$ – значение комплексной частотной характеристики фильтра с номером k на частотах F_p сигналов ГЦ; $\dot{f}_i(\tau_l + p\Delta\tau)$ – величина, определяемая временем задержки $\tau_l + p\Delta\tau$ сигналов ГЦ относительно начала строба с номером l ; τ_l – временное положение строба дальности, в котором обнаружена цель; $\Delta\tau$ – сдвиг строба дальности в дискретных отсчетах; $\dot{U}_p^{\Sigma(\Delta\beta, \Delta\varepsilon)}(F_p, \beta_p, \varepsilon_p)$ – комплексные напряжения на выходе суммарного, разностных азимутального и угломестного каналов для соответствующих частот и направлений прихода ожидаемых источников сигналов ГЦ.

В выражениях (1-3) не учтены комплексные коэффициенты передачи каналов, которые в общем случае различны. Предполагается, что эти различия устранены при помощи любого из известных способов коррекции [1].

Из выражений (1-3) следует, для разрешения по дальности в пределах строба необходимо иметь не менее чем P комплексных отсчетов данных. Далее процесс решения уравнений (1-3) рассмотрим применительно к суммарному каналу, т.е. уравнению (1), поскольку для уравнений (2, 3) последовательность действий аналогична.

Предположим, что имеется $N \geq P$ комплексных отсчетов данных. Тогда выражение (1) для суммарного канала РЛС с МИП с учетом шумов наблюдения сводится к системе уравнений вида

$$\mathbf{y} = \mathbf{F}\mathbf{U} + \mathbf{n}, \quad (4)$$

где \mathbf{y} – $(N \times 1)$ -вектор-столбец результатов наблюдений; \mathbf{F} – $(N \times P)$ -матрица известных импульсных характеристик РЛС; \mathbf{U} – $(P \times 1)$ -вектор-столбец неизвестных комплексных напряжений; \mathbf{n} – $(N \times 1)$ -вектор-столбец шумов наблюдения.

Система уравнений (4) решается относительно неизвестного вектор-столбца \mathbf{U} методом сингулярного разложения

$$\hat{\mathbf{U}} = \mathbf{F}^+ \mathbf{y} = \mathbf{V}\mathbf{\Lambda}^+ \mathbf{U}^H \mathbf{y}. \quad (5)$$

Полученные оценки вектора $\hat{\mathbf{U}}$ сравниваются с порогом

$$\hat{\mathbf{U}} \geq k \cdot por, \quad (6)$$

где k – коэффициент, определяющий вероятность ложных тревог при разрешении сигналов; por – порог разрешения.

Элементы вектора $\hat{\mathbf{U}}$, которые удовлетворяют условию (6), считаются решением $\hat{\mathbf{U}}$ системы (4). Аналогичные операции по составлению систем уравнений и их решению выполняются в разностном азимутальном и угломестном каналах РЛС с МИП.

Искомые нормированные значения угловых координат отдельных целей из состава ГЦ получают далее путем деления напряжений $\hat{\mathbf{U}}^{\Delta\beta(\Delta\varepsilon)}$ в разностных каналах на соответствующие напряжения $\hat{\mathbf{U}}^{\Sigma}$ в суммарном канале. Например, применительно к фазовой суммарно-разностной РЛС с МИП, пеленг p -й цели вычисляются на основе выражений

$$\begin{aligned} \hat{\beta}_p &= \text{Im} \left[\frac{\hat{U}_p^{\Delta\beta}}{\hat{U}_p^{\Sigma}} \right] = \text{Im} \left[\frac{\dot{E}_p \dot{f}^{\Delta\beta}(\beta_p, \varepsilon_p) \dot{f}_k(F_p)}{\dot{E}_p \dot{f}^{\Sigma}(\beta_p, \varepsilon_p) \dot{f}_k(F_p)} \right] = \\ &= \text{Im} \left[\frac{\dot{f}^{\Delta\beta}(\beta_p, \varepsilon_p)}{\dot{f}^{\Sigma}(\beta_p, \varepsilon_p)} \right], \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \hat{\varepsilon}_p &= \text{Im} \left[\frac{\hat{U}_p^{\Delta\varepsilon}}{\hat{U}_p^{\Sigma}} \right] = \text{Im} \left[\frac{\dot{E}_p \dot{f}^{\Delta\varepsilon}(\beta_p, \varepsilon_p) \dot{f}_k(F_p)}{\dot{E}_p \dot{f}^{\Sigma}(\beta_p, \varepsilon_p) \dot{f}_k(F_p)} \right] = \\ &= \text{Im} \left[\frac{\dot{f}^{\Delta\varepsilon}(\beta_p, \varepsilon_p)}{\dot{f}^{\Sigma}(\beta_p, \varepsilon_p)} \right], \end{aligned} \quad (8)$$

Проверка адекватности полученных закономерностей, а также оценка эффективности предлагаемого метода разрешения ГЦ в РЛС с МИП проводилась с помощью математического моделирования. Отдельные результаты моделирования приведены ниже.

Моделировалась активная импульсно-доплеровская РЛС с фазовой суммарно-разностной моноимпульсной системой. В качестве углового датчика использовалась линейная антенная ре-

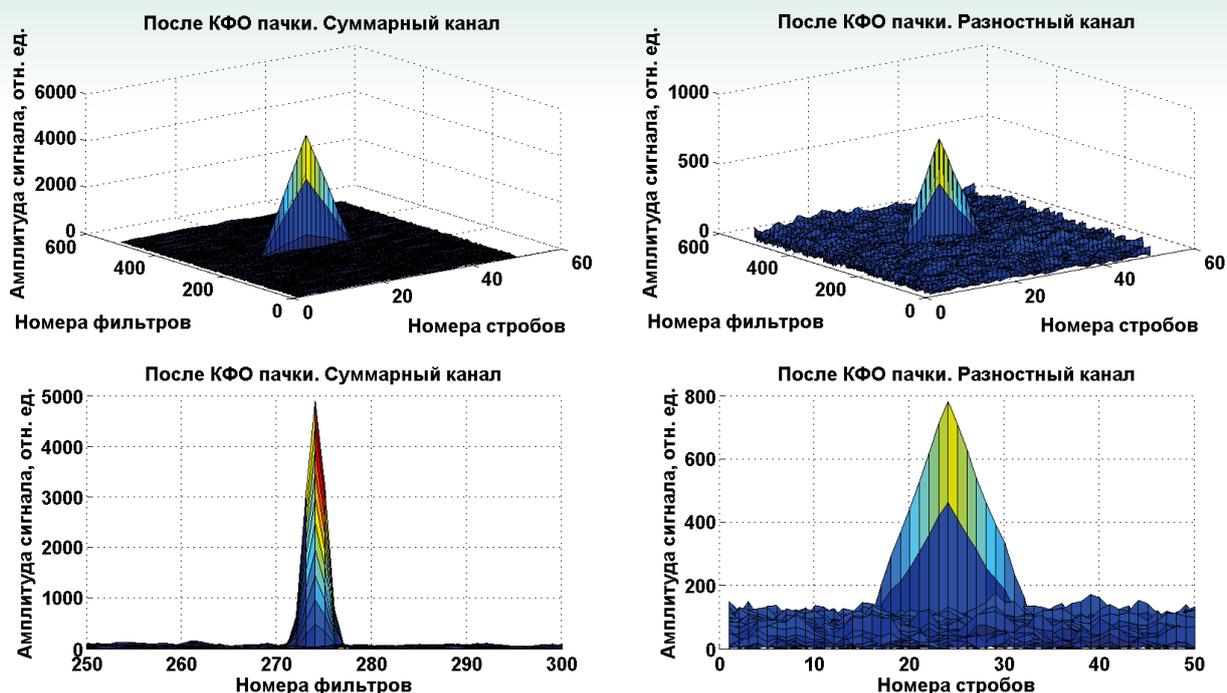


Рис. 1. Результат стандартной корреляционно-фильтровой обработки (КФО) сигналов в суммарном и разностном каналах РЛС при работе по парной групповой цели

щетка, состоящая из 14 излучателей, сдвинутых друг от друга на расстояние $\Delta = \lambda/2$. Для учета искажений характеристики направленности решетки за счет различных дефектов ее изготовления при моделировании вводились флюктуации фазовых центров и амплитудных характеристик

отдельных излучателей решетки. Флюктуации фазовых центров излучателей задавались по равномерному закону в процентах от шага между излучателями решетки и составляли около 10%. Флюктуации амплитудных характеристик отдельных излучателей также задавались по



Рис. 2. Результат разрешения парной групповой цели по дальности в суммарном и разностном каналах РЛС с МИП. Отношение сигнал-шум 30 дБ.

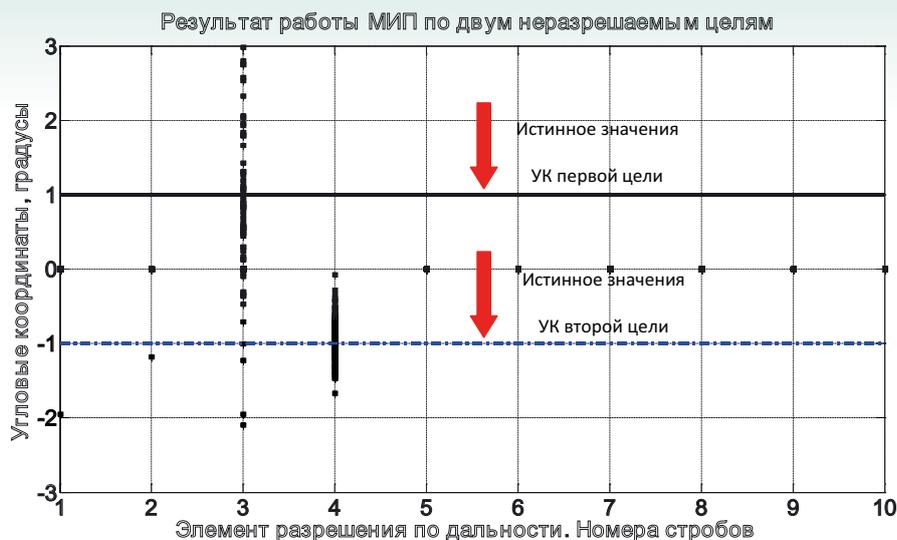


Рис. 3. Результат разрешения парной групповой цели по угловым координатам. Отношение сигнал-шум 30 дБ.

равномерному закону в процентах от заданного коэффициента усиления отдельного излучателя. При моделировании диапазон флюктуаций амплитудных характеристики составлял 30% относительно коэффициента усиления отдельного излучателя. С целью реализации фазового моноимпульсного метода пеленгации апертура решетки была разделена на два сектора по семь излучателей в каждом. Каждый сектор антенной системы формировал независимую (парциальную) комплексную характеристику направленности. Выходы секторов антенн подключались к двум приемным каналам и позволяли реализовать суммарно-разностную обработку принятых сигналов, их частотно-временную фильтрацию и оценку угловой координаты цели фазовым методом. При моделировании было принято, что в каналах приемной системы выполняется линейный перенос спектров сигналов из области СВЧ в область промежуточных и видеочастот. Предполагалось также, что комплексные коэффициенты передачи суммарного и разностного каналов откалиброваны известными способами. На прием использовалась диаграммообразующая схема, формирующая суммарный и разностный каналы.

На рисунках 1-3 представлены результаты работы РЛС с МИП при разрешении двух целей по УК предлагаемым методом. По частоте Доплера и времени запаздывания сигналы ГЦ не разрешались (см. рисунок 1). Амплитуды сигналов ГЦ были случайными и различались на порядок. При этом относительное рассогласование сигналов ГЦ по времени запаздывания составляло 0,1 длительности зондирующего импульса (десять стробов на импульс, см. рисунок 2),

а по угловым координатам – четверть ширины диаграммы направленности суммарного канала РЛС (см. рисунок 3), которая составляла примерно восемь градусов по уровню минус 3 дБ от максимального значения.

Полученные результаты позволяют утверждать, что при отношениях сигнал-шум (30-40 дБ) предложенный метод позволяет получать достаточно устойчивые оценки УК отдельных целей из состава ГЦ, т.е. разрешать их по пространству при отсутствии разрешения по дальности (времени запаздывания) и скорости (частоте Доплера) без существенных вычислительных затрат.

Литература

1. Леонов А.И., Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. М.: Радио и связь, 1984.
2. Жибуртович Н.Ю., Абраменков В.В., Савинов Ю.И., Климов С.А., Чижов А.А. Определение радиолокационной системой с моноимпульсным пеленгатором угловых координат отдельных целей из состава группы // Радиотехника, 2005. № 6. С. 38-41.
3. Митрофанов Д.Г. Модернизированный адаптивный метод формирования радиолокационных изображений воздушных целей для сигналов со ступенчатой перестройкой несущей частоты // Известия РАН, 2012. №1(71). С. 102-108.
4. Митрофанов Д.Г. Сафонов А.В., Прохоркин А.Г. Моделирование задачи распознавания целей по их радиолокационным изображениям нейросетевым способом // Радиотехника, 2007. №2. С. 3-9.
5. Климов С.А. Метод разрешения групповых радиолокационных объектов // Электромагнитные волны и электронные системы, 2013. Т. 18. №4. С. 28-37.
6. Перехожев В.А., Митрофанов Д.Г. Вариант построения двухуровневого нейросетевого идентификатора летательных аппаратов // Известия Института инженерной физики, 2014. №1(31). С. 47-52.
7. Митрофанов Д.Г., Бортовик В.В., Красавцев О.О., Сафонов А.В., Кичулкин Д.А. Исследование информативности импульсной характеристики объекта методом нейросетевого моделирования // Известия Института инженерной физики, 2014. №4(34). С. 75-81.

УДК 621.391

ТЕХНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОПТИМАЛЬНЫХ ЛИНЕЙНЫХ МОДУЛЯЦИИ И ДЕМОДУЛЯЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Кирилл Александрович Батенков

кандидат технических наук, доцент

докторант

Академия Федеральной службы охраны

Российской Федерации

Адрес: 302034, г. Орел,

ул. Приборостроительная, д. 35

Тел.: +7(4862)54-97-63

E-mail: pustur@yandex.ru

Синтезированы дискретные отображения беспроводного канала связи в соответствии с критерием минимума среднеквадратической ошибки между сигналами на входе и на выходе образуемого дискретного канала при ограничении на энергию передаваемых сигналов. Вычислены матрицы модуляции и демодуляции для исследуемой модели беспроводного канала связи с использованием математического пакета MathCad. Проведена оценка технического эффекта линейных согласованных модуляции и демодуляции для беспроводного канала связи с замираниями, распределенными по закону Накагами. В качестве канала связи рассматривался канал с импульсной характеристикой идеального полосового фильтра в диапазоне от 1 ГГц до 1,1 ГГц и аддитивным белым гауссовским шумом. Продемонстрировано наличие энергетического выигрыша до 0,68 дБ предлагаемых решений относительно стандартной модуляции гармоническими несущими. Причем наибольший энергетический выигрыш, в том числе и по среднеквадратическому отклонению, наблюдается в области средних отношений средней энергии к спектральной плотности шума (около 10–30 дБ). Отмечено снижение среднеквадратической ошибки вследствие стабилизации коэффициента передачи канала связи и как результат – увеличение отношения сигнал-помеха на выходе демодулятора при заданной средней энергии к спектральной плотности шума.

Wireless channel discrete mappings under the minimal average squared error criterion between signals on generated discrete channel input and output on limit of transmitted signals. Matrixes of modulation and demodulation for wireless channel model analyzed with utilizing of mathematical software suite MathCad. Performance evaluation of linear matched modulation and demodulation for wireless channel with Nakagami fading is carried out. Channel with pulse response of 1–1,1 GHz pass-band filter and additive white Gaussian noise is considered. Energy gain to 0,68 dB of proposed settlements in regard to standard modulation by harmonic oscillation is shown. Energy gain maximum (and also under the average squared error) is watched in and around mean ratios of energy to noise power spectral density (near 10–30 dB). Average squared error decrease as a result of channel transmission gain stabilization and consequently signal-noise growth on desired ratios of energy to noise power spectral density is marked.

Ключевые слова: беспроводный канал связи, дискретное отображение непрерывного канала связи, модуляция, демодуляция, распределение Накагами, замирания, среднеквадратическая ошибка.

Key words: беспроводный канал связи, дискретное отображение непрерывного канала связи, модуляция, демодуляция, распределение Накагами, замирания, среднеквадратическая ошибка.

Известно [1, 2, 3, 4, 5], что наиболее популярные существующие, а так же перспективные беспроводные системы связи используют достаточно широкую полосу частот для передачи сигналов по радиоканалу. Вызвано это, прежде всего, значительными скоростями передачи данных, а так же схемами множественного доступа.

Следовательно современные беспроводные системы существенно отличаются от узкополосных и обладают рядом специфических свойств. Так, для беспроводных систем характерно значительное влияние межсимвольной интерференции на передаваемые сигналы, но в тоже время, не столь пагубное воздействие замираний сигнала вследствие частотной зависимости коэффициента передачи канала по сравнению с узкополосными системами позволяет рассчитывать на рост надежности связи.

Подобные свойства достаточно хорошо описываются моделью случайного линейного фильтрового канала связи с аддитивным шумом [6, 7, 8]. Сигнал на выходе такой модели $x'(t')$ определяется как сумма свертки сигнала на входе $x(t)$ и ее импульсной характеристики $h(t, t')$, которая в данном случае оказывается случайной функцией двух аргументов, и некоторого шума $n(t')$:

$$x'(t') = \int h(t, t')x(t)dt + n(t').$$

При этом подразумевается, что в представлении системной характеристики канала пространственная координата \mathbf{r} всего одна и для простоты ее описание опущено. Кроме того, подобный канал является линейным при нулевых начальных условиях, а следовательно учитываемое число слагаемых ряда Вольтерра всего одно. В тоже время импульсная характеристика случайна, а значит, она представима в виде произведения:

$$h(t, t') = \alpha(t) \cdot h_0(t - t'),$$

где $\alpha(t)$ – случайная функция, описывающая замирания в канале (далее – функция замираний); $h_0(t - t')$ – детерминированная функция, описывающая искажения в канале, вызванные его частотной селективностью (далее – функция искажений);

Синтез дискретного отображения подобно непрерывному каналу связи (более детально – совместно модулятора и демодулятора) осуществляется в соответствии с критерием минимума среднеквадратической ошибки между сигналами на входе и на выходе образуемого дискретного канала при ограничении на энергию передаваемых сигналов [9, 10, 11]. С целью оценки технического эффекта от применения полученных линейных операторов модуляции и демодуляции проведено вычисление матриц моду-

ляции и демодуляции для исследуемого случайного линейного фильтрового канала связи с аддитивным гауссовским шумом с использованием пакета MathCad. В качестве канала связи рассматривался канал с импульсной характеристикой идеального фильтра высоких частот в диапазоне от 1 ГГц до 1,1 ГГц и аддитивным белым гауссовским шумом. В качестве параметров замираний использовались коэффициенты разложения функции замираний $\alpha(t)$ по системе базисных функций $\Psi(t)$:

$$\alpha_i = \int \alpha(t)\psi_i(t)dt, \quad i = \overline{1, \infty}.$$

При этом предполагается их статистическая независимость друг относительно друга и распределенность по одинаковому закону Накагами [7]:

$$\omega_\alpha(\alpha) = \frac{2}{\Gamma(k/2)} \left(\frac{k}{2\Omega} \right)^{k/2} \alpha^{k-1} e^{-\frac{k\alpha^2}{2\Omega}}, \quad \alpha \geq 0, \quad (1)$$

где $\Omega = M(\alpha^2)$ – начальный момент второго порядка распределения Накагами; k – параметр замираний [4].

Следует пояснить, что для краткости в (1) индекс у коэффициента замираний опущен, то есть

$$\omega_{\alpha_i}(\alpha) = \omega_{\alpha_j}(\alpha) = \omega_\alpha(\alpha), \quad i, j = \overline{1, \infty}.$$

В работе рассматривается вариант $\Omega = 1$ и три различных значения параметра замираний $k = 1, 2$ и 10 . При $k = 2$ коэффициенты замираний оказываются распределенными по закону Релея [4, 7]. Меньшая величина $k = 1$ приводит к более протяженным хвостам распределения, а так же к высокой вероятности близких к нулю значений коэффициента замираний, то есть подобное распределение соответствует более нестабильному каналу (глубокие замирания). Увеличение параметра замираний до $k = 10$ существенно укорачивает хвосты распределений, а кроме того, делает дрожания коэффициента замираний достаточно локализованными в области единичных значений. В результате данные статические свойства оказываются сопоставимыми с характером мелких замираний. Естественно, что дальнейший рост параметра замираний k в пределе до бесконечности формирует дельта образное распределение, соответствующее детерминированной величине равной единице, а следовательно и случайный канал вырождается в канал связи с постоянными параметрами.

Длительность тактового интервала составляет 100 мкс. При этом в качестве системы базисных функций $\Psi(t)$ использованы гармонические колебания, согласованные по полосе пропускания с каналом связи. Число отсчетов (комбинаций базисных функций) для вычисления опти-

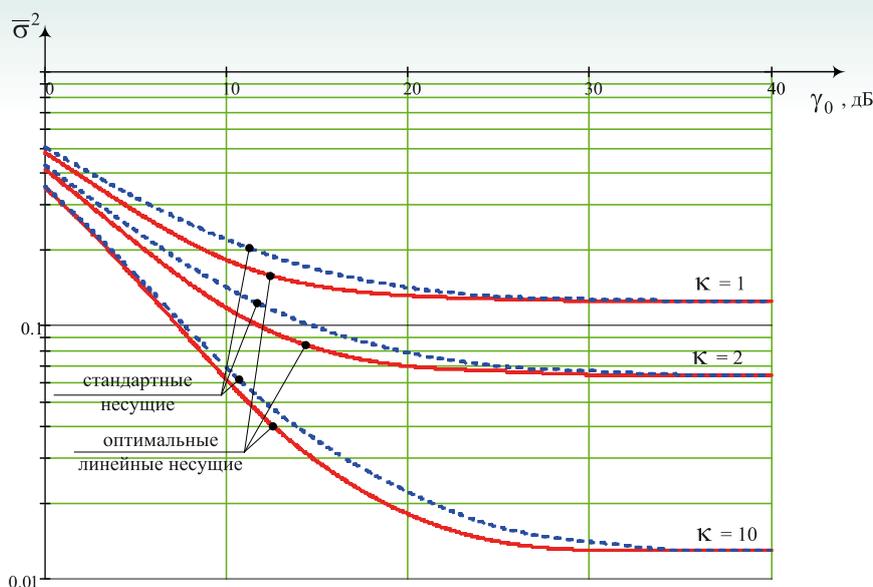


Рис. 1. Зависимость среднеквадратической ошибки $\bar{\sigma}^2$ от отношения средней энергии к спектральной плотности шума γ_0 при оптимальной линейной модуляции и модуляцией гармоническими несущими в условиях оптимальной линейной демодуляции для случая передачи одномерных двухпозиционных амплитудно-модулированных сигналов

мальных операторов модуляции равно 4. При этом естественно, что число отсчетов равно 1 соответствует случаю фиксированных стандартных гармонических несущих, которые и использованы в работе в качестве аналога. Предполагалось, что энергия сигналов (точек сигнальных

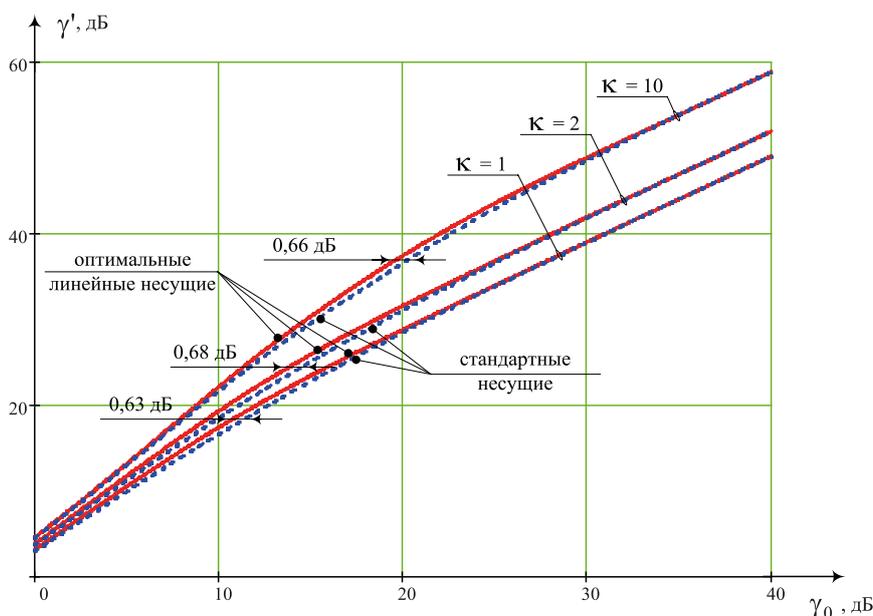


Рис. 2. Зависимость отношения сигнал–помеха на выходе демодулятора γ' от отношения средней энергии к спектральной плотности шума γ_0 при оптимальной линейной модуляции и модуляцией гармоническими несущими в условиях оптимальной линейной демодуляции для случая передачи одномерных двухпозиционных амплитудно-модулированных сигналов

созвездий), поступающих на вход модулятора равна единице.

Вычисленные зависимости среднеквадратической ошибки $\bar{\sigma}^2$ от отношения средней энергии к спектральной плотности шума γ_0 в канале связи для случая передачи одномерных двухпозиционных амплитудно-модулированных сигналов представлены на рисунке 1. Графики наглядно демонстрируют наличие энергетического выигрыша оптимального модулятора относительно стандартного. При этом наибольший энергетический выигрыш наблюдается в области средних отношений средней энергии к спектральной плотности шума $\gamma_0 \sim 10\text{--}30$ дБ.

Следует отметить, что разность между принятым сигналом на выходе демодулятора и поданным на вход модулятора, по сути, является реализацией интегральной помехи (мультипликативных и аддитивных шумов) на выходе демодулятора. Следовательно среднеквадратическое отклонение эквивалентно энергии помехи, содержащейся в сигнале на выходе демодулятора. В результате для заданной энергии передаваемых сигналов целесообразно рассматривать не просто среднеквадратическое отклонение как энергию неустранимой помехи, а отношение энергии полезного сигнала к помехе (отношение сигнал–помеха γ'). Кроме того, при подобной трактовке показателя технического эффекта появляется возможность прогнозировать помехоустойчивость последующих схем обработки (при переходе от непрерывного выхода к дискретному), поскольку для них наиболее часто исследуемыми являются зависимости достоверности именно от отношения сигнал–помеха, а не от просто энергии вредной составляющей.

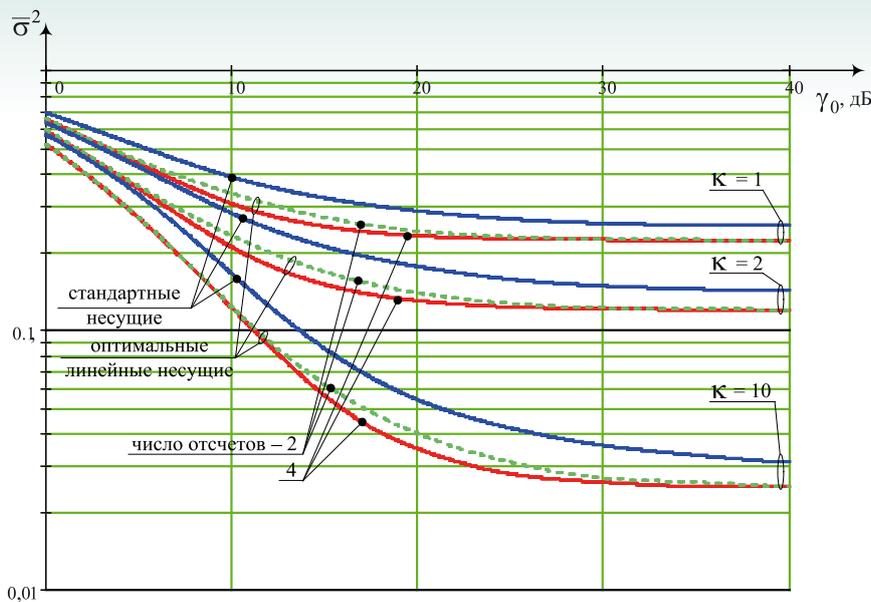


Рис. 3. Зависимость среднеквадратической ошибки $\bar{\sigma}^2$ от отношения средней энергии к спектральной плотности шума γ_0 при оптимальной линейной модуляции и модуляции гармоническими несущими в условиях оптимальной линейной демодуляции для случая передачи двумерных четырехпозиционных амплитудно-модулированных сигналов

В работе были получены зависимости отношения сигнал-помеха на выходе демодулятора γ' от отношения средней энергии к спектральной плотности шума γ_0 при единичной спектральной плотности аддитивного шума, представленные на рисунке 2.

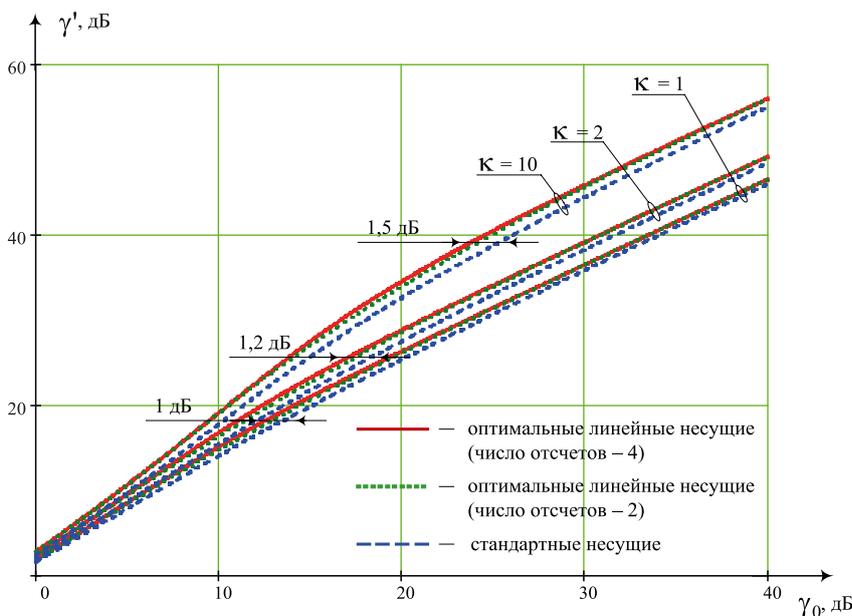


Рис. 4. Зависимость отношения сигнал-помеха на выходе демодулятора γ' от отношения средней энергии к спектральной плотности шума γ_0 при оптимальной линейной модуляции и модуляции гармоническими несущими в условиях оптимальной линейной демодуляции для случая передачи двумерных четырехпозиционных амплитудно-модулированных сигналов

Данные зависимости так же демонстрируют наличие энергетического выигрыша, достигающего величин порядка 0,68 дБ, оптимального модулятора относительно стандартного. Причем наибольший энергетический выигрыш (аналогично среднеквадратическому отклонению) наблюдается в области средних отношений средней энергии к спектральной плотности шума

$$\gamma_0 \sim 10-30 \text{ дБ.}$$

Так, при сопоставимости энергий передаваемых сигналов и аддитивного шума ($\gamma_0 \approx 0$ дБ) наибольшее влияние на надежность передачи информации оказывает именно аддитивный шум, а мультипликативная помеха достаточно слаба, поскольку мала и энергия передаваемых

сигналов. В результате варьирование формы передаваемых сигналов вызывает незначительный эффект (порядка 0,1 дБ), усиливающийся по мере роста отношения средней энергии к спектральной плотности шума γ_0 .

Однако при значительной энергии передаваемых сигналов ($\gamma_0 > 30$ дБ) роль замираний оказывается господствующей, а влияние аддитивного шума ничтожным. В итоге ни варьирование формы сигнала, ни дальнейшее увеличение его энергии не приводит к снижению среднеквадратического отклонения и как следствие зависимость между отношениями сигнал-помеха на выходе демодулятора γ' и средней энергии к спектральной плотности шума γ_0 становится линейной. Кроме того, технические эффекты и оптимальной модуляции и стандартной оказываются сопоставимыми.

Следует так же отметить снижение среднеквадратической ошибки вследствие стабилизации коэффициента передачи канала связи и как ре-

зультат – увеличение отношения сигнал-помеха на выходе демодулятора γ' при заданной средней энергии к спектральной плотности шума γ_0 .

Несколько иные зависимости наблюдаются при увеличении числа используемых несущих (измерений, подканалов). Так, на *рисунках 3 и 4* представлены графики для случая передачи двумерных четырехпозиционных амплитудно-модулированных сигналов (квадратурно-амплитудная модуляция). Аналогично одномерному случаю наблюдается энергетический выигрыш оптимальных схем модуляции относительно стандартной. Тем не менее присутствует и существенное отличие при передаче многомерных сигналов.

Так, графики иллюстрируют зависимость среднеквадратического отклонения и, как следствие, отношения сигнал-помеха на выходе демодулятора γ' от числа используемых при оптимизации отсчетов (комбинаций базисных функций). При этом наибольшая разница в энергетике (0,45 дБ) наблюдается в области средних значений отношения средней энергии к спектральной плотности шума γ_0 , а в пограничных случаях (малых и больших величинах) подобное отличие практически полностью нивелируется. Это объясняется наличием большего числа степеней свободы у более богатых компонентами несущих колебаний и, как следствие, их способностью более точно подстраиваться под свойства исследуемого канала связи. В то же время при малых и больших отношениях средней энергии к спектральной плотности шума γ_0 влияние либо аддитивного шума, либо мультипликативной помехи оказывается столь значительным, что не позволяет никоим образом воздействовать на технический эффект системы посредством вариаций форм несущих либо их энергии.

Следует также отметить существенное отличие в величине среднеквадратического отклонения оптимальных схем модуляции относительно стандартной, наблюдаемое на всей области определения отношения средней энергии к спектральной плотности шума γ_0 , что приводит к энергетическому проигрышу по отношению сигнал-помеха на выходе демодулятора γ' (до 1,5 дБ) гармонических несущих относительно оптимальных.

Кроме того, вследствие существования некоторых пределов среднеквадратического отклонения при больших отношениях средней энер-

гии к спектральной плотности шума γ_0 стандартная схема модуляции не позволяет достичь тех же показателей технического эффекта, что и оптимальная. В результате энергетический выигрыш стабилизируется и составляет величину порядка 0,5 дБ для $k = 1$, 0,7 дБ для $k = 1$ и 1 дБ для $k = 10$. В целом же наблюдается тенденция роста энергетического выигрыша оптимального модулятора относительно стандартного при снижении степени случайности канала связи (с увеличением параметра затуханий k).

Литература

1. Ali-Yahiya, T. Understanding LTE and its Performance / Tara Ali-Yahiya. – NY: Springer, 2011. 250 p.
2. MIMO-OFDM for LTE, WiFi, and WiMAX: coherent versus non-coherent and cooperative turbo-transceivers / L. Hanzo, J. Akhtman, L. Wang, M. Jiang. – UK: John Wiley & Sons Ltd, 2011. 658 p.
3. Fazel, K. Multi-carrier and spread spectrum systems: from OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX / K. Fazel, S. Kaiser. – 2nd ed. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2008. 260 p.
4. Kaiser, T. Ultra wideband systems with MIMO / Thomas Kaiser and Feng Zheng. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2010. 254 p.
5. Molisch, A. F. Wireless communications / Andreas F. Molisch. – 2nd ed. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2011. 827 p.
6. Теория электрической связи: учеб. для вузов / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, В.И. Коржик, М.В. Назаров; под ред. Д.Д. Кловского. М.: Радио и связь, 1999. 432 с.
7. Прокис Дж. Цифровая связь / Пер. с англ. под ред. Д.Д. Кловского. М.: Радио и связь, 2000. 800 с.
8. Батенков К.А. Математическое моделирование непрерывных многопараметрических каналов связи в операторной форме // Телекоммуникации, 2013. №10. С. 2-4.
9. Батенков К.А. Необходимые условия оптимальности операторов модуляции и демодуляции // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов: сб. ст. / [сост. А.В. Калачев, В.В. Белозерских]. Барнаул, 2013. С. 58-62.
10. Батенков К.А. Обобщенный пространственно-матричный вид энергетических ограничений систем связи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2013. №3. С. 238-245.
11. Батенков К.А. Дискретные отображения непрерывного канала связи на основе обобщенного ряда Фурье // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета, 2013. №1 (43). С. 12-20.
12. Батенков К.А. Формальное описание нелинейных модуляций и демодуляций на основе функциональных рядов Вольтерра // Известия Института инженерной физики, 2014. №1(31). С.60-64.

УДК 621.396.96

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ

Антон Владимирович Подзоров

кандидат технических наук

научный сотрудник
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(916)069-29-34 E-mail: exus201@mail.ru

Виктор Викторович Харченко

кандидат технических наук, доцент
преподаватель

Военный учебно-научный центр ВВС
«Военно-воздушная академия
им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Адрес: 394064, г. Воронеж,
ул. Старых Большевиков, 54а
Тел.: +7(920)448-23-95 E-mail: vahrostov@mail.ru

Артур Суменович Вартамян

соискатель

Военный учебно-научный центр ВВС
«Военно-воздушная академия
им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Адрес: 394064, г. Воронеж,
ул. Старых Большевиков, 54а
Тел.: +7(920)448-23-95 E-mail: vahrostov@mail.ru

Валентина Васильевна Котова

младший научный сотрудник

филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(905)517-23-13 E-mail: exus201@mail.ru

Применение в антенной технике специальных покрытий, решающих множество задач, в настоящее время получает широкое развитие. При этом вопросы влияния указанных покрытий на характеристики излучения и другие параметры антенных систем становятся все более актуальными. В работе проводится анализ влияния параметров покрытия на характеристики излучения и энергетические параметры цилиндрической антенной решетки магнитных излучателей.

Usage in antenna engineering special coatings that solve a number of tasks that currently receives wide development. The issues of influence of these coverings on parameters of radiation and other parameters of antenna systems are becoming more relevant. In work the analysis of influence of parameters of coating on the characteristics of radiation and energy parameters of cylindrical antenna array magnetic emitters.

Ключевые слова: цилиндрическая антенна, защитное покрытие.

Key words: cylindrical antenna, protective coating.

Известно, что использование в антенной технике различного рода покрытий, позволяет не только решать задачи по защите излучающего раскрыва от различного рода случайных или преднамеренных воздействий, но и управлять характеристиками антенны по средствам изменения электрофизических параметров указанных покрытий. Такая задача возникает при решении вопросов электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии [1].

В работе рассматривается антенная конструкция, представленная на *рисунке 1*. Антенна представляет собой идеально проводящий круговой цилиндр радиуса r_1 , на поверхности кото-

рого параллельно образующей размещается система магнитных излучателей в виде щелей. Цилиндр покрыт специальным слоем, внешний радиус которого равен r_2 , выполненным из магнетодиэлектрического материала (значения магнитной и диэлектрической проницаемостей отличны от единицы). Излучатели выбраны в виде щелей, так как в отличие от электрических вибраторов, щелевые излучатели не накладывают дополнительных требований к толщине и размеру покрытия.

Конструкция выбрана в виде цилиндра для того, чтобы отказаться от поворотных устройств (механического перемещения луча) при реше-

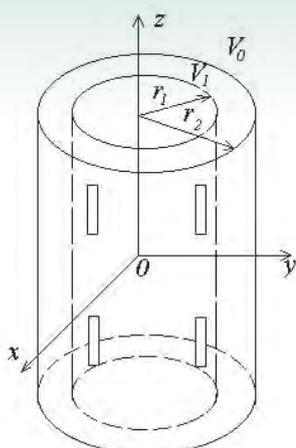
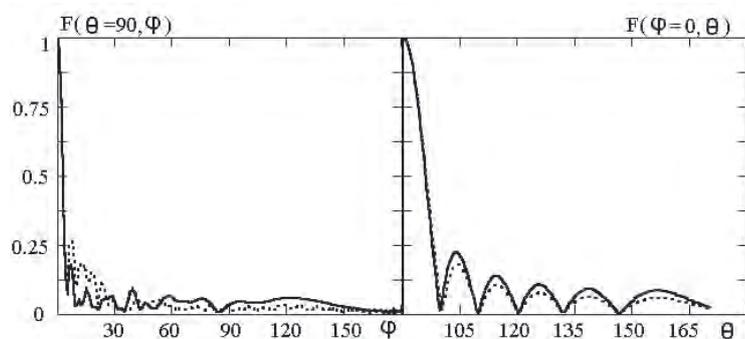


Рис. 1. Цилиндрическая антенна с покрытием

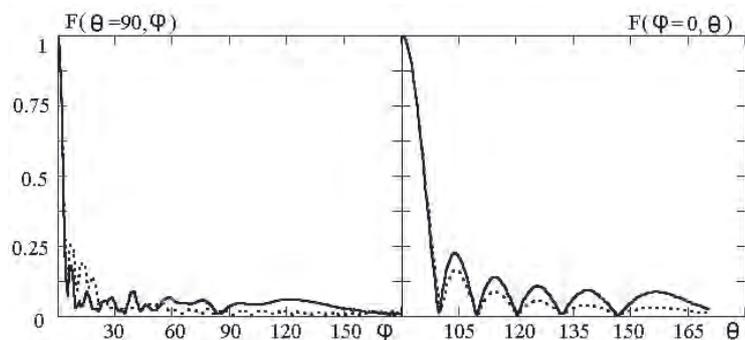
нии задач сканирования пространства, которое будет осуществляться электронным способом.

Решение задачи о возбуждении цилиндра с покрытием магнитными излучателями проводилось на основе метода «частичных областей» [2]. Полное поле в области V_1 (области магнитодиэлектрика) является суперпозицией падающего и рассеянного полей. Поле в области V_0 (области свободного пространства) представляется в виде суперпозиции рассеянных (вторичных) волн, распространяющихся от цилиндра в бесконечность.

Проведенные исследования позволили соз-



а) $\epsilon=3, \mu=2$



б) $\epsilon=2, \mu=1,5$

Рис. 2. Диаграммы направленности антенных решеток

дать математический аппарат для анализа характеристик и параметров антенной системы, на основе которого был построен вычислительный алгоритм, позволяющий оценить влияние параметров покрытия на характеристики излучения и энергетические параметры цилиндрической антенны [3].

На рисунках 2а и 2б представлены нормированные диаграммы направленности цилиндрических антенных решеток (ЦАР) щелевых излучателей, состоящих из двенадцати колец, по двадцать пять излучателей в каждом, размещенных в кольце с шагом $0,6\lambda$ и шагом между кольцами $0,6\lambda$. Сплошными кривыми изображены диаграммы направленности цилиндрической антенной решетки без покрытия со спадающим амплитудно-фазовым распределением в раскрыве антенны, а штриховыми линиями – диаграммы направленности ЦАР с магнитодиэлектрическим покрытием с различными параметрами при равномерном амплитудно-фазовом распределении.

Из рисунков видно, что использование магнитодиэлектрического покрытия с определенными параметрами позволяет значительно изменять характеристики излучения ЦАР. Проведенный анализ показывает, что при использовании магнитодиэлектрических покрытий в ЦАР щелевых излучателей при определенных параметрах данных покрытий, можно добиться снижения уровня бокового и заднего излучения таких антенн в диапазоне углов $30-180$ градусов в азимутальной плоскости, и в диапазоне углов $0-90$ градусов в угломестной плоскости по отношению к аналогичным ЦАР без покрытия.

Степень влияния параметров магнитодиэлектрического покрытия на энергетические характеристики ЦАР можно оценить через КПД данной антенны, который определяется следующим выражением:

$$\eta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(1 - |K_{om_i}|^2 \right), \quad (1)$$

где $K_{om} = \frac{Z_i - W_\phi}{Z_i + W_\phi}$ – коэффициент отражения;

Z_i – сопротивление i -го излучателя в составе АР;

W_ϕ – волновое сопротивление фидера.

На рисунках 3 приведены зависимости значений КПД ЦАР без покрытия (сплошные линии) и КПД ЦАР с магнитодиэлектрическими покрытиями

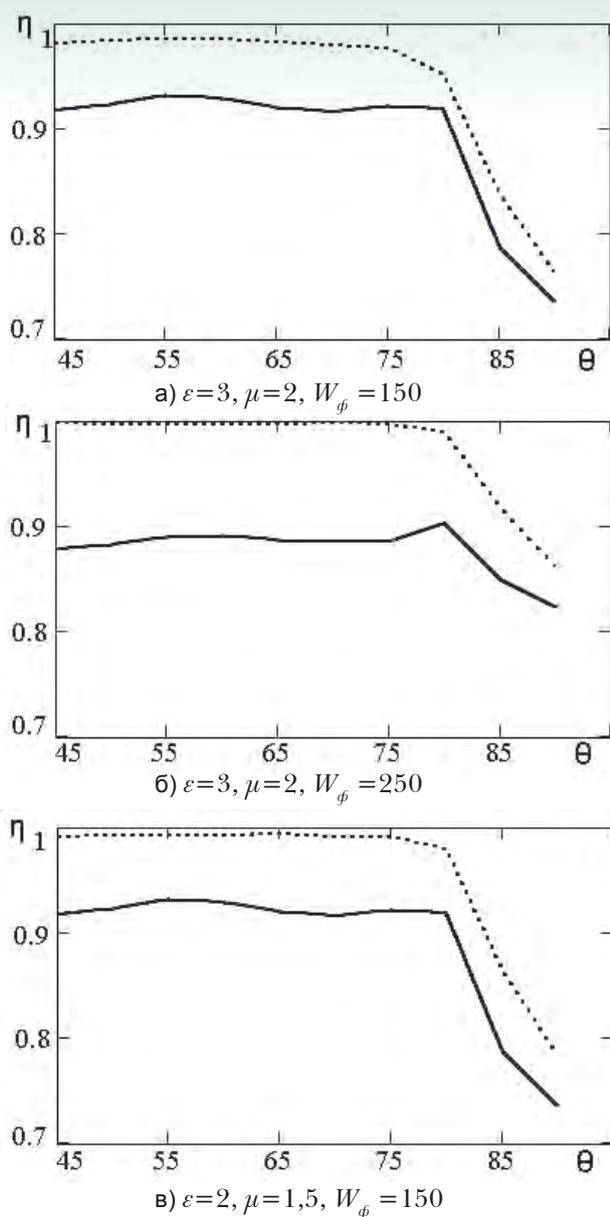


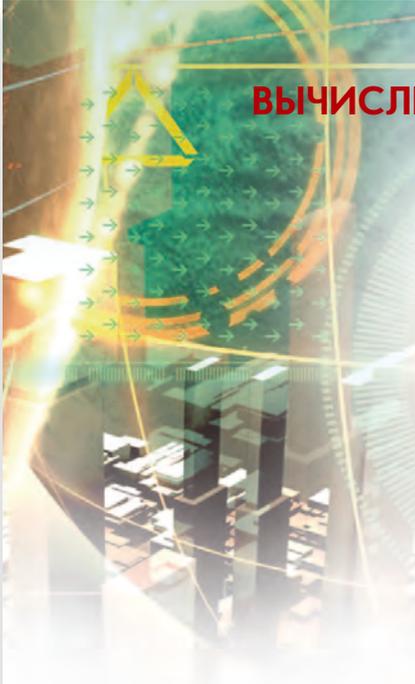
Рис. 3. Зависимости КПД антенных решеток

ями (штриховые линии) от угла θ . Зависимости приведены для различных параметров магнетодиэлектрических покрытий и различных значений волнового сопротивления фидера W_{ϕ} .

Из приведенных результатов следует, что подбор параметров магнетодиэлектрического покрытия позволяет добиться улучшения согласования излучающего раскрыва с фидерным трактом. При этом могут быть найдены значения электродинамических и геометрических параметров покрытия, при которых обеспечивается как снижение уровня боковых лепестков, так и улучшение согласования в секторе сканирования. Это позволяет обеспечить повышение коэффициента усиления антенны на краю сектора сканирования по сравнению с ЦАР без покрытия.

Литература

1. Кузнецов Е.В., Чесноков Ю.С., Семенихин А.И. Способы замкнутого управления рассеянием электромагнитных волн с помощью интеллектуальных покрытий и структур. Тр. 2 МНТК «ИРЭМВ-2003». Таганрог, 2003. С. 198-203.
2. Петров А.В., Яковлев А.А. Анализ и синтез радиотехнических комплексов / Под ред. В.Е. Дулеви-ча. М.: Радио и связь, 1984. 248 с.
3. Харченко В.В. Возбуждение цилиндра с многослойным диэлектрическим покрытием системой магнитных излучателей // ЦВНИ МО РФ Вып. №64. Сер. Б. М.: 2003.
4. Подзоров А.В., Новиков А.Н., Захаров А.А. Анализ влияния магнетодиэлектрического покрытия на характеристики излучения электрического диполя // Известия Института инженерной физики, 2013. №4(30). С. 70-72.



ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.3

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ К РАЗВИТИЮ КРИТЕРИАЛЬНОЙ БАЗЫ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ильфат Винирович Хабибуллин

главный эксперт отдела
Восьмое управления ГШ ВС РФ
Тел.: +7(495)696-30-90

В статье предлагается методологический подход для развития критериальной базы оценки информационной безопасности изделий и автоматизированных систем.

The paper proposes a methodological approach for the development of criteria base the assessment of information security products and automated systems.

Ключевые слова: система нормативно-методической базы России в области информационной безопасности, автоматизированная система, программное обеспечение, этапы жизненного цикла.

Key words: system of normative-methodical base of Russia in the field of information security, automated system, software, stages of the life cycle.

Большинство ученых и специалистов-практиков отмечают непрерывное повышение требований к безопасности программных компонентов во всех сферах деятельности человека, объясняя это бурными и взаимосвязанными процессами компьютеризации и интеллектуализации соответствующих систем, в том числе и военных. К современным средствам ведения боевых действий предъявляются все более и более высокие требования. Выполнение этих требований без активного развития средств автоматизации не представляется возможным. Одной из важнейших составляющих любой автоматизированной системы (АС), любого образца компьютеризированных вооружения и военной техники (ВВТ) является программное обеспечение (ПО). Более того, на современном этапе развития вооруженных сил все большая роль начинает принадлежать средствам информационного противоборства, а это значит, что ПО может служить средством поражения информационной инфраструктуры противника, а также, являясь неотъемлемой частью систем военного назначения, может оказаться объектом поражения информационными средствами.

Неизбежным следствием этого становит-

ся резкое увеличение объемов и сложности программных средств, используемых в ЭВМ. Особенно это актуально для критичного программного обеспечения, влияющего на поведение систем, сбой которых может повлечь риск для человеческих жизней.

Для защиты интересов и нейтрализации угроз национальной безопасности в информационной сфере Российской Федерации согласно Доктрине информационной безопасности Российской Федерации создана система обеспечения информационной безопасности государства, в которой Министерство обороны совместно с федеральными органами исполнительной власти и другими государственными органами является одним из основных элементов.

Основной деятельностью по обеспечению информационной безопасности АС является защита информации, направленная на предотвращение ее утечки, искажения или уничтожения, несанкционированных и непреднамеренных воздействий. При этом необходимо руководствоваться следующими основными принципами системной инженерии:

- достаточность – соответствие уровня затрат (комплекса мероприятий) на обеспечение ин-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

формационной безопасности величине возможного ущерба АС;

- комплексность – комплексное использование разнородных способов, методов и средств обеспечения информационной безопасности АС;

- непрерывность – способность системы обеспечения информационной безопасности обеспечивать информационную безопасность АС в любых условиях;

- оперативность – своевременное реагирование на изменение условий и факторов, создающих угрозы информационным объектам информационной сферы АС;

- системность – осуществление системного подхода к обеспечению информационной безопасности АС;

- целенаправленность – строгое подчинение целей и задач мероприятий по достижению требуемого уровня защищенности информационной сферы общему замыслу обеспечения информационной безопасности АС.

Проведенная в Минобороны России разработка и применение нормативно-методической базы, обеспечивающие единство подходов к решению задач информационной безопасности, непротиворечивость предъявляемых требований, гармоничность критериев оценки и требований к работе специалистов, в полной мере соответствуют сформулированным системным принципам.

Система нормативно-методической базы МО РФ в области безопасности АС базируется на совокупности Федеральных законов РФ, Указов Президента РФ, постановлений Правительства РФ и приказов МО РФ. Нормативные требования по обеспечению безопасности информации описаны в ряде стандартов и руководящих документов ФСТЭК. Методический аппарат, как правило, создается непосредственно перед проведением соответствующих проверок.

Среди стандартов, как Государственных, так и международных, устанавливающих требования к порядку разработки и испытаний программных средств и автоматизированных систем с учетом выполнения требований по защите информации следует отметить:

- ГОСТ 28806-90 «Качество программных средств. Термины и определения»;

- ГОСТ Р 50739-95 «Средства вычислительной техники. Защита от несанкционированного доступа. Общие технические требования»;

- ГОСТ Р 50922-96 «Защита информации. Основные термины и определения»;

- ГОСТ Р 51188-98 «Защита информации. Испытания программных средств на наличие компьютерных вирусов. Типовое руководство»;

- ГОСТ Р 51241-98 «Средства и системы контроля и управления доступом. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний»;

- ГОСТ Р 51275-99 «Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения»;

- ГОСТ Р 51583-2000 «Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения»;

- ГОСТ Р 51624-2000 «Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Общие требования»;

- ГОСТ Р 52447-2005 «Защита информации. Техника защиты информации. Номенклатура показателей качества»;

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 13335 «Информационная технология – Методы и средства обеспечения безопасности» (Часть 1. Концепция и модели менеджмента безопасности информационных и телекоммуникационных технологий, часть 2 Управление и планирование безопасности информационных технологий, часть 3 Методики для управления безопасностью информационных технологий, часть 4 Выбор защитных мер предосторожности, часть 5 Руководство по управлению безопасностью в вычислительных сетях);

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288 «ИТ. Системная инженерия – Процессы жизненного цикла систем»

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408 – 2004 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий»;

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 17799-2005 «Информационная технология. Практические правила управления информационной безопасностью»;

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 «Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристика качества и руководства по их применению»;

- ГОСТ РВ 51987-2002 «ИТ. КСАС. Требования и показатели качества функционирования информационных систем. Общие положения» и др.

Методической основой проведения испытаний являются руководящие документы Гостехкомиссии (ныне ФСТЭК), такие как:

- «Концепция защиты средств вычислительной техники и автоматизированных систем от несанкционированного доступа к информации» – 1992 г.;

- «Защита от несанкционированного доступа к информации. Термины и определения» – 1992 г.;

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

○ «Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации» – 1992 г.;

○ «Средства вычислительной техники. Защита от несанкционированного доступа к информации. Показатели защищенности от НСД к информации» – 1992 г.;

○ «Защита от несанкционированного доступа к информации. Часть 1. Программное обеспечение средств защиты информации. Классификация по уровню контроля недеklarированных возможностей» – 1999 г.;

○ «Безопасность информационных технологий. Критерии оценки безопасности информационных технологий.» – 2002 г.;

○ РД Гостехкомиссии России. «Безопасность информационных технологий – Руководство по разработке профилей защиты и заданий по безопасности» – 2003 г. и др.

Таким образом, существующая в настоящее время нормативно-методическая база позволяет проводить комплекс мероприятий как по обеспечению защиты информации в существующих и разрабатываемых АС, так и производить оценку защищенности ресурсов различных систем от нарушения целостности, доступности и конфиденциальности информации на этапах жизненного цикла систем, описанных в ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288 «КСАС. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем».

Однако следует заметить, что имеющаяся база не лишена ряда недостатков. Так, например:

на этапе формирования технического задания:

● требования по безопасности ПО задаются формально;

● требования к качеству и допустимому уровню риска не задаются;

● многие технические задания разработаны без учета требований безопасности;

на этапе эскизно-технического проектирования:

● вопросы безопасности ПО считаются второстепенными

● задачи повышения качества программирования не рассматриваются

при разработке РЖД:

● низок уровень разрабатываемой программной документации, описывающей алгоритм функционирования;

● допустимый риск заказчика во внимание не принимается;

на этапе Государственных испытаний:

● выполнение требований по безопасности

ПО проверяется только для средств защиты информации;

● качество функционирования системы и допустимый уровень риска не оцениваются;

при сертификационных испытаниях:

● вопросы безопасности ПО досконально проверяются впервые;

● практически всегда выявляются, а затем устраняются недостатки в части соответствия требованиям безопасности информации.

В дальнейшем процесс сопровождения и авторского надзора зачастую направлен на устранение выявленных уязвимостей и критичных ошибок.

Таким образом, можно констатировать, что существующая нормативно-методическая база обеспечения безопасности информации от НСД АС и изделий ИТ имеет ряд нерешенных аспектов, основными из которых являются следующие:

■ недостаточная четкость структуры и ограниченность состава сложившегося пакета документов, который применяется при обеспечении безопасности информации в АС;

■ статичность и недостаточная конкретность представления требований безопасности информации;

■ недостаточный объем методических документов по реализации требований действующей нормативной базы;

■ недостаточная проработка методических и процедурных вопросов проведения работ по оценке соответствия АС с учетом выполнения работ по сертификации их составных частей;

■ недостаточность развития критериальной базы оценки эффективности обеспечения безопасности информации.

В начале 2000-х годов законодательное и нормативное регулирование обеспечения безопасности информации от НСД в Российской Федерации претерпело определенные изменения. В качестве общей тенденции совершенствования законодательного и нормативного регулирования в области безопасности ИТ можно определить гармонизацию с международными стандартами с учетом накопленного положительного опыта обеспечения безопасности информации от НСД в Российской Федерации.

При этом особый интерес для развития критериальной базы оценки безопасности изделий и АС представляют методологический подход системной инженерии, нашедший отражение в ряде российских национальных стандартов и руководящих документов.

Предложенный в них подход базируется на следующем:

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- требования обеспечения безопасности информации задаются с учетом угроз безопасности информации и характеристик нарушителей, политики безопасности, условий применения на основе каталогизированных наборов требований и установленных операций по их конкретизации;

- требования безопасности информации четко разделены на функциональные требования, предъявляемые к функциям и механизмам, реализуемым средствами защиты информации, и требования доверия, предъявляемые к процессам задания требований, разработки, оценки и сопровождения оцененных изделий;

- используются стандартизированные конструкции требований безопасности информации от НСД (в виде профилей защиты и заданий по безопасности), определяющие модель защиты;

- четко регламентируются действия по оценке соответствия изделий информационных технологий требованиям безопасности информации;

- определен механизм поддержки доверия к безопасности изделий информационных технологий в процессе эксплуатации и сопровождения.

В настоящее время указанный подход получает распространение и на область обеспечения безопасности информации автоматизированных систем.

Литература

1. Костокрызов А.И., Липаев В.В. Сертификация качества функционирования автоматизированных информационных систем. М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 1996.

2. Костокрызов А.И., Степанов П.В. Инновационное управление качеством и рисками в жизненном цикле систем. М.: ВПК, 2008.

3. Жидков И.В., Кадушкин И.В. Применение системной инженерии к формированию нормативно-методической базы испытаний программных средств по требованиям безопасности информации. Сборник трудов IV Международной конференции «ИТ-Стандарт 2013». М.: МГТУ МИРЭА, 2013.

4. Исследование концептуальных, научно-методических основ задания требований безопасности информации для информационных систем, изделий и оценки их соответствия этим требованиям, а также аспектов автоматизации должностных лиц в данной области. Отчет о НИР «Штатив-3», 2010.

5. Мукминов В.А., Воинов Ю.В., Тихонов Р.И., Хабибуллин И.В. Методика проведения технических экспертиз и испытаний автоматизированных систем в условиях моделирования информационных воздействий // Известия Института инженерной физики, 2011. №1(19). С. 8-12.

6. Хабибуллин И.В. Подтверждение гарантий информационной безопасности функционирования автоматизированных информационных систем в процессе сертификационных испытаний // Известия Института инженерной физики, 2014. №4(34). С. 33-36.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 629.76

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ КОМАНДЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК КОСМИЧЕСКОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО МАНЕВРА НА БАЛЛИСТИЧЕСКОМ УЧАСТКЕ ТРАЕКТОРИИ

Дмитрий Вячеславович Смирнов

*доктор технических наук,
доцент*

Генеральный директор –
Первый Вице-президент
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: iifrfinfo@gmail.com

Алексей Игоревич Алаторцев

кандидат технических наук

старший научный сотрудник
филиал ВА РВСН имени Петра Великого
(г. Серпухов)

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)78-96-53
E-mail: alexalat@yandex.ru

В статье рассмотрены вопросы формирования пространственного маневра космического летательного аппарата (КЛА) на баллистическом участке траектории его движения. Предложен способ формирования команды на включение двигательных установок (ДУ) КЛА.

The paper deals with the formation of the spatial maneuvering Space Flyer Unit (SFU) for midcourse trajectory of its movement. Proposed a method for forming a team for the inclusion of propulsion systems (control) spacecraft.

Ключевые слова: баллистическая траектория, двигательная установка, коррекция траектории, космический летательный аппарат, маневр КЛА, траекторные характеристики.

Key words: ballistic trajectory, propulsion, trajectory correction, spacecraft, spacecraft maneuver, trajectory characteristics.

При движении КЛА известны способы формирования команды на включение ДУ КЛА [5]. Они основаны на измерении в процессе полета сигнала, пропорционального фактическому значению функционала или параметра движения, сравнения его с расчетным к определенному моменту времени и выдачи команды на включение или выключение корректирующего двигателя (КД) КЛА. Однако эти способы позволяют осуществлять маневр в плоскости стрельбы, компенсировать возмущения, обусловленные отклонением поверхностных сил. Коррекция движения КЛА производится по кажущимся параметрам, а переход к действительным параметрам осуществляется на основе пересчета кажущихся параметров в БЦВМ.

При решении задач формирования требуемой схемы полета КЛА возникает необходи-

мость совершения им пространственного маневра характеризуемого резким изменением кинематических параметров траектории в коротком промежутке времени (например, маневр-уклонение).

Известен способ маневра КЛА с целью компенсации аномалий гравитационного поля Земли (ГПЗ) на параметры движения КЛА [1]. Он позволяет за счет измерения высоты полета радиотехническими средствами, смещать время включения КД КЛА и компенсировать ошибки аномалий ГПЗ.

Предполагаемый способ обеспечивает формирование в заданный момент времени сигнала, пропорционального времени включения ДУ КЛА для осуществления заданного маневра в пространстве и компенсации накопленных возмущений.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Указанная цель достигается тем, что в момент главной команды (ГК) фиксируют кинематические параметры движения центра масс КЛА и время конца активного участка траектории (АУТ), сравнивают текущие их значения с расчетными, формируют поправки в расчетное время включения ДУ КЛА, обеспечивающей компенсацию возмущения, затем в соответствии с параметрами полетного задания формируют сигнал, пропорциональный времени работы ДУ КЛА, обеспечивающий его заданный маневр.

То есть, в момент ГК получают отклонения:

- по координатам

$$\Delta q_i = q_i - q_{ip}, \quad \begin{pmatrix} \Delta X_k = X_k - X_{kp}, \\ \Delta Y_k = Y_k - Y_{kp}, \\ \Delta Z_k = Z_k - Z_{kp} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

- скоростям

$$\Delta \dot{q}_i = \dot{q}_i - \dot{q}_{ip}, \quad \begin{pmatrix} \Delta X_{xk} = X_{xk} - X_{xkp}, \\ \Delta Y_{yk} = Y_{yk} - Y_{ykp}, \\ \Delta Z_{zk} = Z_{zk} - Z_{zkp} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

- времени конца АУТ

$$\Delta t_{ГК} = t_{ГК} - t_{ГКp}, \quad (3)$$

и определяют временную поправку включения ДУ КЛА, обеспечивающую компенсацию возмущений АУТ:

$$\Delta \tau_1 = \frac{\partial t}{\partial t_{ГК}} \Delta t_{ГК} + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial t}{\partial q_i} \Delta q_i + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial t}{\partial \dot{q}_i} \Delta \dot{q}_i. \quad (4)$$

Время включения ДУ КЛА будет равно

$$t_{в}^{кор} = t_{вр} + \Delta \tau_1, \quad (5)$$

где Δq , $\Delta \dot{q}_i$ – отклонения кинематических параметров движения центра масс ГЧ от их расчетных значений на момент времени выдачи главной команды;

$\Delta \tau_1$ – отклонение момента времени включения ДУ КЛА от его расчетного значения t_p ;

$\frac{\partial t}{\partial y_i}$, $\frac{\partial t}{\partial \dot{q}_i}$ – частные производные функции времени включения ДУ КЛА по координатам и скоростям движения центра масс соответственно;

$\frac{\partial t}{\partial t_{ГК}}$ – частная производная функции времени включения ДУ КЛА по времени выдачи ГК.

Определение всех частных баллистических производных производится методом интегрирования полной нелинейной системы дифференциальных уравнений при подготовке полетного задания.

С целью построения заданной схемы маневра формируют сигнал, пропорциональный времени работы ДУ КЛА.

Используя расчетные отклонения КЛА для маневра в системе координат точки падения ΔL , ΔZ , ΔH , производится формирование сигналов, пропорциональных скоростям маневра по осям системы координат.

$$\Delta L = \frac{\partial L}{\partial W_\alpha} \Delta W_\alpha, \quad \Delta Z = \frac{\partial Z}{\partial W_\beta} \Delta W_\beta, \quad \Delta H = \frac{\partial H}{\partial W_\gamma} \Delta W_\gamma. \quad (6)$$

где $\frac{\partial L}{\partial W_\alpha}$, $\frac{\partial Z}{\partial W_\beta}$, $\frac{\partial H}{\partial W_\gamma}$ – частные баллистические производные изменения скорости в строительной СК; ΔW_α , ΔW_β , ΔW_γ – значения кажущейся скорости по направлениям строительной СК, обеспечивающие требуемый маневр.

При проведении бокового маневра необходимая скорость для маневра будет равна:

$$\Delta W_\gamma = \sqrt{\Delta W_\alpha^2 + \Delta W_\beta^2}. \quad (7)$$

Угол направления продольной оси X будет определен как

$$\operatorname{tg} X = \frac{\Delta Z}{\Delta L},$$

то есть

$$X = \arctg \left(\frac{\Delta Z}{\Delta L} \right). \quad (8)$$

Для получения пространственного маневра радиус-вектор направления положения точки падения КЛА будет равен

$$\Delta R = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta Z^2 + \Delta H^2}, \quad (9)$$

а направление продольной оси КЛА при этом будет равно

$$\beta = \arctg \frac{\Delta W_H}{\sqrt{\Delta W_\beta^2 + \Delta W_L^2}}. \quad (10)$$

Необходимая скорость для маневра будет

$$\Delta W_M = \sqrt{\Delta W_\alpha^2 + \Delta W_H^2}. \quad (11)$$

Согласно теореме об импульсах [7], можно записать

$$P_{ПОР} \cdot \Delta \tau_M = m \cdot \Delta W_M, \quad (12)$$

где P – тяга ДУ КЛА ($P = \text{const}$),

m – масса КЛА.

Можно определить время работы корректирующего двигателя КЛА, обеспечивающее получение заданной скорости для маневра

$$\Delta \tau_M = \frac{m}{P} \Delta W_M. \quad (13)$$

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

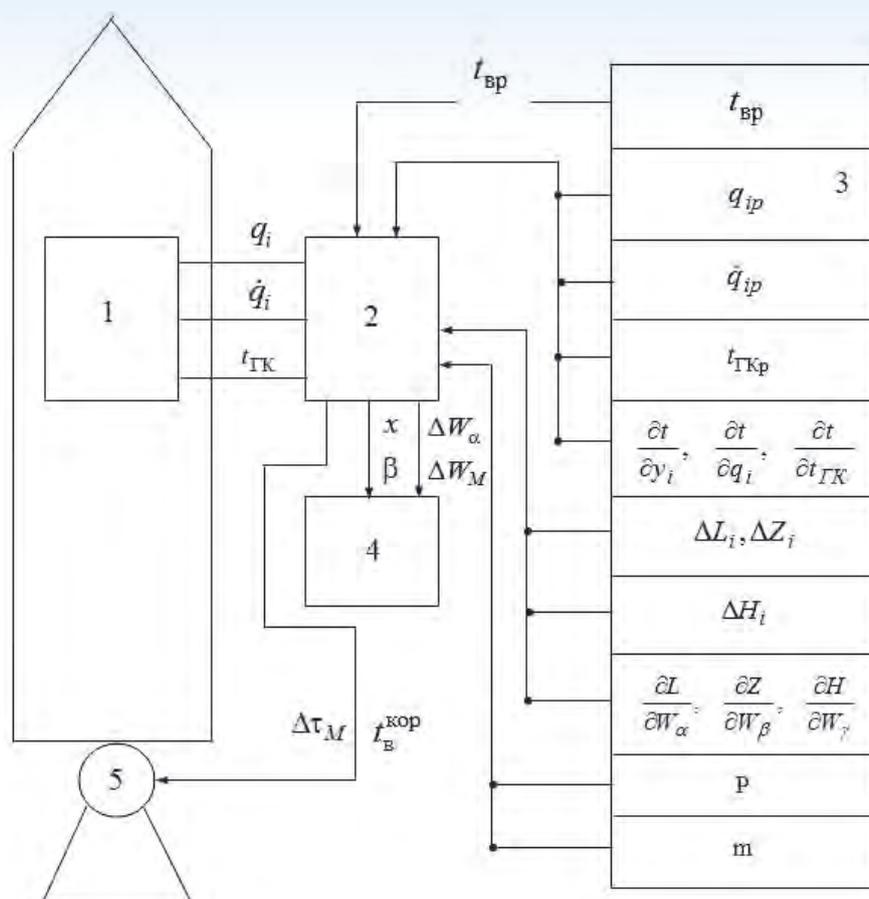


Рис. 1. Структурная схема технической реализации способа формирования команды включения ДУ КЛА для обеспечения пространственного маневра на ПУТ

На *рисунке 1* представлена схема технической реализации предложенного способа и введены следующие обозначения:

1. Система управления объекта управления (головная часть).
2. Бортовая цифровая вычислительная машина.
3. Блок хранения полетного задания.
4. Блок запоминающего устройства.
5. Исполнительный элемент объекта управления.

Схема работает следующим образом. В период предстартовой подготовки по команде «ввод ПЗ» в блок 3 поступают сигналы, пропорциональные значениям частных производных, расчетных кинематических параметров движения КЛА в момент ГК, расчетное время включения корректирующего двигателя, величины смещения по дальности, боковому отклонению и высоте точки прицеливания КЛА при маневре, расчетные характеристики тяги двигателя и масса КЛА.

По команде «ПУСК» в блок 2 поступают сигналы, пропорциональные введенным в полет-

ное задание. По главной команде из блока 1 в блок 2 поступают сигналы, пропорциональные кинематическим параметрам движения КЛА. В блоке 2 формируются сигналы, пропорциональные времени задержки включения корректирующего двигателя, времени включения корректирующего двигателя, а также сигналы, пропорциональные требуемым скоростям маневра и времени работы корректирующего двигателя. Система стабилизации (блок 4) обрабатывает к моменту включения ДУ КЛА сигналы, пропорциональные угловому положению и в момент $t_{в}^{кор}$ включается ДУ КЛА, время работы которого пропорционально $\Delta\tau_M$.

Предложенный способ позволяет без существенного изменения конструкции КЛА и функциональной схемы системы его управления компенсировать влияние возмущений АУТ и провести пространственный маневр-уклонение.

Литература

1. Заявка RU 2013103482 на полезную модель «Устройство для повышения точности попадания полезной нагрузки беспилотного летательного аппара-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

та в точку ее прицеливания», МПК В64С19/00, приоритет 30.01.2013г., авторы и патентообладатели Алаторцев А.И., Алаторцев И.И., Смирнов Д.В.

2. Красовский А.А., Понаморев Ю.П. Баллистическое обеспечение пусков дальнего действия. М.: Машиностроение, 1972. 140 с.

3. Патент RU116990 на полезную модель «Устройство для повышения точности доставки полезной нагрузки баллистической ракеты в точку начала ее автономного полета», МПК В64С19/00, F42В10/00, приоритет 24.01.2012г., авторы: Алаторцев А.И., Алаторцев И.И., Смирнов Д.В., патентообладатель: МОУ «Институт инженерной физики».

4. Патент RU105882 на полезную модель «Устройство для управления беспилотным летательным аппаратом», МПК В64С19/00, F42В10/00, приори-

тет 27.01.2011г., авторы: Алаторцев А.И., Алаторцев И.И., патентообладатель: МОУ «Институт инженерной физики».

5. Сихарулидзе Ю.Г. Баллистика летательных аппаратов. М.: Наука, 1982. 352 с.

6. Сейферт Г. Космическая техника. М.: Наука, 1964. 728 с.

7. Технические основы эффективности ракетных систем / Под ред. Е.Б. Волкова. М.: Машиностроение, 1990. 253 с.

8. Смирнов Д.В., Алешин В.И., Коробков А.А., Фуров А.Н., Свистунов А.В., Кондрашин М.А. Методы обеспечения безопасности полетов околоземных космических аппаратов при условии наличия космического мусора // Известия Института инженерной физики, 2013. №3(29). С. 27-31.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.816

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ – СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Артем Юрьевич Вяткин

начальник военного научного отдела РВСН
г. Одинцово-10

Дмитрий Вячеславович Смирнов

*доктор технических наук,
доцент*

Генеральный директор –
Первый Вице-президент МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: iifrfinfo@gmail.com

Игорь Анатольевич Кочетов

кандидат военных наук
начальник 2 НИЛ
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д.17

Рассматривается современное состояние дел в области построения систем поддержки принятия решений.

Discusses the current state of affairs in the field of building systems, decision support.

Ключевые слова: автоматизированная система, ГОСТ, информационная система, система поддержки принятия решений.

Key words: automated system, GOST, information system, decision support.

Современный этап развития информационных технологий характеризуется активным внедрением различных автоматизированных компьютерных систем практически во все сферы деятельности человека. Особенно активное внедрение происходит в процессы управления объектами различной природы. Для обеспечения эффективности управления этими объектами используются различные информационные системы (ИС), многие из которых называют термином «система поддержки принятия решений» (СППР).

Насколько обоснован и применим данный термин к информационной системе, любая ли ИС является СППР, что отличает СППР от других ИС – эти и другие вопросы в настоящее время до конца не исследованы. Актуальными на сегодняшний день остаются вопросы теоретического, нормативно-правового, методического и программного обеспечения СППР. Рассмотрим более подробно эти направления исследований.

Информационная система – совокупность содержащейся в базах данных информации и обе-

спечивающих ее обработку информационных технологий и технических средств [3].

Для совершенствования процесса управления и повышения его оперативности были предложены, разработаны, созданы и продолжают создаваться автоматизированные системы управления различного назначения, при этом все чаще и активнее в состав таких систем вводятся СППР [2].

В рамках информационного подхода СППР относятся к классу автоматизированных информационных систем, основное назначение которых улучшить деятельность человека путем применения информационных технологий. Наиболее близкие к СППР классы систем – это экспертные системы и автоматизированные системы.

Автоматизированная система (АС) – это система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций [1].

СППР в большинстве случаев рассматривает-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ



Рис. 1. Место СППР в составе АС и ИС

ся как интерактивная автоматизированная система, которая помогает лицу принимающему решение (ЛПР), использовать данные и модели для идентификации, решения задач и принятия решений.

Роль СППР в информационной среде не в том, чтобы заменить человека, а в том, чтобы повысить его эффективность в роли вычислительного звена. Цель создания СППР заключается не в автоматизации процесса принятия решений, а в осуществлении коопераций взаимодействия между системой и человеком в процессе принятия решений.

Из *рисунка 1* видно, что концептуально СППР является подмножеством автоматизированных систем, которые в свою очередь являются подмножеством ИС, что делает актуальной задачу идентификации СППР, то есть выявление характерных черт, признаков и свойств.

Учитывая все вышесказанное, можно отметить, что для СППР не существует четкого определения, а так же основополагающих фундаментальных признаков, по которым информационную систему можно классифицировать как СППР.

Историю развития СППР (англ. Decision Support System – DSS) можно проследить с начала 1960-х гг., когда были созданы первые ИС – MIS (Management Information System). В конце 60-х гг. появляется новый тип ИС – модель-ориентированные DSS (Model-oriented Decision Support Systems) или системы управленческих решений (Management Decision System – MDS).

По мнению первооткрывателей СППР Keen P.G.W. и Scott Morton M.S. [7], концепция поддержки решений была развита на основе «теоретических исследований в области принятия решений... и технических работ по созданию интерактивных компьютерных систем». В 1970 году J.D.C. Little в работе [8] предложил критерии проектирования СППР в менеджменте. В

1978-м опубликован учебник по СППР [6], в котором исчерпывающе описаны аспекты создания СППР: анализ, проектирование, внедрение, оценка и разработка. В 1980 году опубликована диссертация S. Alter [4], в которой он дал основы классификации СППР. В 1981-м Bonczek, Holsapple и Whinston в книге [5] создали теоретические основы проектирования СППР. Они выделили 4 необходимых компонента, присутствующих всем СППР:

1) Языковая система (Language System – LS) – СППР может принимать все сообщения;

2) Система презентаций (Presentation System (PS)) – СППР может выдавать свои сообщения;

3) Система знаний (Knowledge System – KS) – все знания СППР сохраняет;

4) Система обработки задач (Problem-Processing System (PPS)) – программный «механизм», который пытается распознать и решить задачу во время работы СППР.

В 1989 году Григорием Пятецким-Шапиро был введен термин Data Mining – собирательное название, используемое для обозначения совокупности методов обнаружения в данных ранее неизвестных, нетривиальных, практически полезных и доступных интерпретации знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности.

Начиная с 1990-х, разрабатываются так называемые Data Warehouses – «хранилища данных». В 1993 году Е.Коддом (E.F. Codd) для СППР специального вида был предложен термин OLAP (Online Analytical Processing) – оперативный анализ данных, онлайн-аналитическая обработка данных для поддержки принятия важных решений. Исходные данные для анализа представляются в виде многомерного куба, по которому можно получать нужные разрезы – отчеты.

Таким образом, исторически СППР была предназначена для интеллектуальной обработки поступающей информации, для выработки вариантов решений.

Условно процесс подготовки решения можно разбить на 4 этапа (*рисунок 2*). На первом этапе происходит первичная обработка данных при помощи технологий Data mining, OLAP и т.д. Результаты обработки на втором этапе преобразуются в формат базы знаний СППР и помещаются в хранилище данных. На третьем этапе происходит обработка фактографической информации, определяются топологические связи, вырабатываются варианты решений и оценивается их эффективность с точки зрения предпочтений ЛПР. На четвертом этапе наиболее эффективные варианты решений предлагаются ЛПР для их выбора и реализации.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

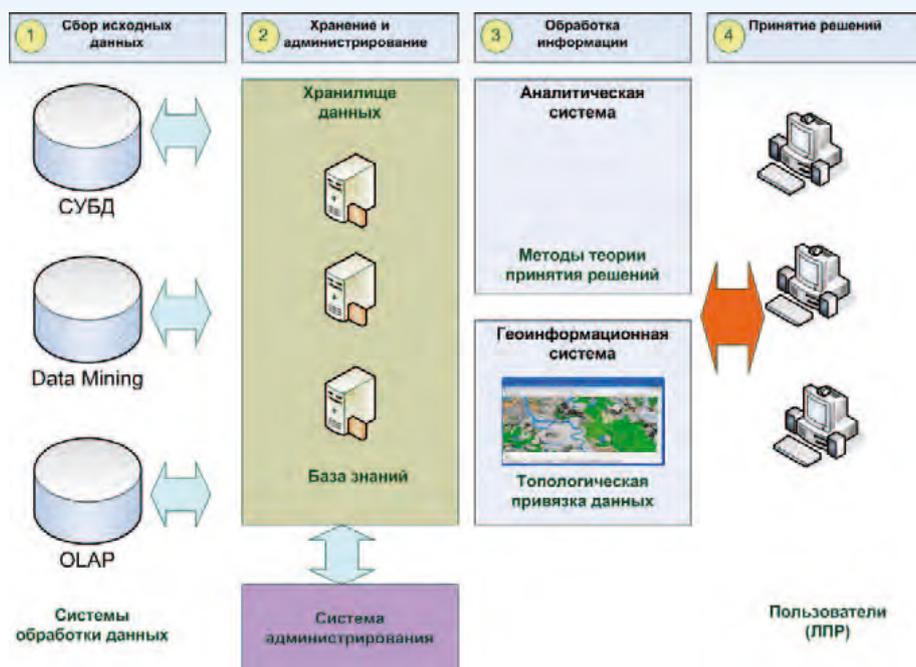


Рис. 2. Этапы процесса подготовки решения СППР

Основным проблемным вопросом при реализации данного процесса является отсутствие или неполнота исходной информации для формирования варианта решения или оценки его эффективности.

Несомненно интересными являются исследования по применению многоагентных технологий и нечеткой обработки информации для построения перспективных СППР.

Нормативно-правовую базу СППР составляют ГОСТы, концепции, стандарты, приказы и другие документы предназначенные для ИС и АС, основными из которых являются:

- ГОСТ 24.XXX-XX – серия ГОСТов, относящихся к автоматизированным системам.
- ГОСТ 34.XXX-XX – серия ГОСТов, относящихся к информационным технологиям.
- ГОСТ 32-201 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем».
- РД 50-34.698-90 «Рекомендации. Правила проведения работ при создании автоматизированных систем».
- РД 50-34.698-90 «Методические указания. Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Требования к содержанию документов».

эффективного применения СППР в процессах управления.

Литература

1. ГОСТ 34003-90 «Автоматизированные системы. Стадии создания».
2. Ларичев О.И., Петровский А.В. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития // Итоги науки и техники. Серия «Техническая кибернетика». Т. 21. М.: ВИНТИ, 1987.
3. ФЗ 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»
4. Alter S.L. Decision support systems: current practice and continuing challenges. Reading Mass.: Addison-Wesley Pub., 1980.
5. Bonczek R.H., Holsapple C., Whinston A.B. Foundations of Decision Support Systems. New York: Academic Press, 1981.
6. Keen P.G.W., Scott Morton M. S. Decision support system: an organ perspective. Reading, Mass.: Addison – Wesley Pub. Co., 1978.
7. Keen P.G.W. Decision Support Systems: The next decades // Decision Support Systems, 1987. V. 3. P. 253-265.
8. Little J.D.C. Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus // Management Science, 1970. V. 16. №8.
9. Кочетов И.А. Система поддержки принятия решений по управлению комплексом подвижных объектов // Известия Института инженерной физики, 2009. №1(11). С. 30-33.
10. Кочетов И.А. Разработка защищенной видеоконференцсвязи для систем поддержки принятия решений // Известия Института инженерной физики, 2011. №2(20). С. 33-35.

Проведенный анализ информационно-правовой базы показал, что для СППР не существует единых требований и определений. Это обуславливает необходимость создания новых ГОСТов, стандартов и требований к СППР.

Исходя из вышесказанного, в настоящее время наиболее актуальными при разработке СППР являются вопросы, связанные с обработкой нечеткой информации, распознавания образов, применения информационных технологий, использования средств интеллектуализации, применения геоинформационных технологий и методологии

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 665.632+620.93

РАЗРАБОТКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ПРОЦЕССОВ С ПЕРЕМЕННОЙ МАССОЙ ГАЗА В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМАХ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ОСНОВЕ ПЕРВОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ*

Виктор Васильевич Редькин

*почетный работник науки и техники РФ,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник*
ведущий научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(926)860-73-37
E-mail: oniokr@mail.ru

Олег Владимирович Кемаев

кандидат технических наук
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: kemkonk@mail.ru

Алексей Александрович Коробков

кандидат технических наук, доцент
начальник отдела планирования НИОКР
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: korobkow@mail.ru

Максим Васильевич Кулик

научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: mklik@mail.ru

Статья посвящена разработке термодинамических уравнений некоторых процессов с переменной массой газа в низкотемпературных системах трубопроводного транспорта природного газа на основе первого начала термодинамики для открытых систем.

Рассмотрены некоторые процессы с переменной массой газа: периодический процесс выпаривания, протекающий в аппарате при его заполнении легкокипящей жидкостью; изобарный процесс заполнения теплого сосуда легкокипящей жидкостью; периодический процесс абсорбции, протекающий при наполнении резервуара с абсорбентом чистым метаном; периодический процесс десорбции.

Article is devoted to the development of the thermodynamic equations of some processes with variable mass of gas in the low-temperature systems, pipeline transportation of natural gas based on the first law of thermodynamics for open systems.

Considered some of the processes with variable mass of gas: the process of emptying the vessel; periodic evaporation process flowing in the device when it is full of low-boiling liquid; isobaric process of filling a vessel of warm low-boiling liquid; periodic absorption process occurring at the tank is filled with an absorbent pure methane; periodic desorption process.

Ключевые слова: абсорбер, канал миграции, коэффициент теплопередачи, легкокипящая жидкость, низкотемпературная система трубопроводного транспорта природного газа, первое начало термодинамики, природный газ, термодинамические уравнения, термомеханическая система.

Key words: absorber, channel migration, heat transfer coefficient, low-boiling liquid, low-temperature system of pipeline transportation of natural gas, the first law of thermodynamics, natural gas, thermodynamic equations, thermomechanical system.

* Исследования проводятся в рамках выполнения стипендиальных исследований Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики на 2013-2015 гг., № СП-1952.2013.1 «Исследование влияния содержания гомологов метана в природном газе на режимные параметры и термодинамические характеристики его низкотемпературного транспорта в состоянии недогретой жидкости».

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Процесс опорожнения сосуда

От особенностей построения термомеханической системы зависит форма записи первого начала термодинамики, которая в свою очередь определяет структуру термодинамических уравнений изучаемых процессов [1, 2]. Покажем это вначале с помощью известных выражений первого начала термодинамики для систем с переменной массой газа в подсистемах, на примере процесса опорожнения. Используя каноническую форму записи первого начала термодинамик

$$dq = dH - \vartheta dp, \quad (1)$$

где dp – удельный подвод тепла к резервуару из окружающей среды;
 dH – изменение энтальпии вытекающего газа;
 ϑ – удельный объем вытекающего газа, а также выражение для dq

$$dq = \frac{KF(T - T_{oc})d\tau}{G}, \quad (2)$$

где K – коэффициент теплопередачи от окружающей среды к газу;
 F – поверхность контакта газа со стенками резервуара;
 T – температура газа;
 τ – время процесса;
 G – масса газа в данный момент времени.

$$G = G_H - g\tau, \quad (3)$$

G_H – начальное количество газа;
 g – расход газа;
 и уравнение состояния,

$$\rho V = (G_H - g\tau)zRT \quad (4)$$

где z – коэффициент сжимаемости.

После замены dH на $C_p dT$ в работе [3] получено следующее основное уравнение для процесса опорожнения:

$$KF(T_{oc} - T)d\tau - (G_H - g\tau)(C_p - zR)dT - gTzRd\tau = 0. \quad (5)$$

где C_p – изобарная теплоемкость вытекающего газа.

Решим это уравнение относительно T

$$\frac{KF(T - T_{oc}) + gTzR}{(zR - C_p)(G_H - g\tau)} = \frac{dT}{d\tau}. \quad (6)$$

Разделим переменные

$$\frac{d\tau}{(zR - C_p)(G_H - g\tau)} = \frac{dT}{KF(T_{oc} - T) + gTzR}, \quad (7)$$

и после интегрирования получим

$$T = \frac{[(C_p g - gZR)\tau + (qRG_H)] \frac{KF + gZR}{C_p g - gZR} c_1 + KFT_{oc}}{KF + gZR}. \quad (8)$$

При $\tau = 0$, $T = T_H$ (начальная температура газа)

$$T_H = \frac{(ZRG_H - C_p G_H) \frac{KF + gZR}{C_p g - gZR} c_1 + KFT_{oc}}{KF + gZR}. \quad (9)$$

Из (9)

$$c_1 = \frac{T_H(KF + gZR) - KFT_{oc}}{(ZRG_H - C_p G_H) \frac{KF + gZR}{C_p g - gZR}}. \quad (10)$$

Подставляя в уравнение (8) выражение (10) для C_1 , получим

$$T = \frac{[(C_p g - gZR)\tau + (ZRG_H - C_p G_H)] \frac{KF + gZR}{C_p g - gZR}}{KF + gZR} \times \frac{T_H(KF + gZR) - KFT_{oc}}{(ZRG_H - C_p G_H) \frac{KF + gZR}{C_p g - gZR}} + \frac{KFT_{oc}}{KF + gZR}. \quad (11)$$

Анализируя уравнение (11), полученное на основе предпосылок С.А. Бобровского, необходимо отметить, что

- 1) используемое в нем уравнение состояния применимо для параметров, далеких от критических;
- 2) взятая для него форма записи первого начала термодинамики не соответствует особенностям закрытой неравновесной системы с переменной массой газа в подсистемах [1];
- 3) использование в нем изобарной теплоемкости неправомерно, так как давление в процессе изменяется.

Более строго процессы с переменной массой газа могут быть описаны на основе выражения М.А. Мамонтова:

$$\delta Q + \Pi g d\tau = d\underline{U} + \delta L + \Pi_r g_r d\tau, \quad (12)$$

где Π – приход энергии с 1 кг входящего газа;
 Π_r – расход энергии с 1 кг вытекающего газа;
 g – приход газа в единицу времени;
 g_r – расход газа в единицу времени;
 δQ – тепло, получаемое открытой энергией;
 τ – время;

\underline{U} – изменение энергии системы;
 δL – работа, совершаемая открытой системой в элементарном во времени процессе.

Если принять допущение, сделанное в работах [3-6], и считать, что в изучаемых процессах с переменной массой газа в ресиверах величина определяется только внутренней энергией, то для процесса отбора газа из сосуда с одним каналом миграции уравнение (12) запишется следующим образом

$$\delta Q = d\underline{U} + \Pi_{\kappa} g_{\kappa} d\tau + \delta Z_{\phi}. \quad (13)$$

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Расход энергии за время $d\tau$ равен

$$\Pi_{\kappa} g_{\kappa} d\tau = \underline{U} g_{\kappa} d\tau + p dV, \quad (14)$$

где \underline{U} – удельная внутренняя энергия газа;
 p – давление на выходе из системы;
 dV – вытеснений за время $d\tau$ объем газа.

Вес вытесненного газа

$$g_{\kappa} d\tau = \frac{dV}{\vartheta}, \quad (15)$$

где ϑ – текущий удельный объем газа в системе.

Разделим левую и правую части уравнения (14) на $g_{\kappa} d\tau$ и получим

$$\Pi_{\kappa} = \underline{U} + \frac{p dV}{g_{\kappa} d\tau}, \quad (16)$$

Заменяя $g_{\kappa} d\tau$ на $\frac{dV}{\vartheta}$, перепишем выражение (16)

$$\Pi_{\kappa} = \underline{U} + p\vartheta. \quad (17)$$

Так как в рассматриваемой системе контурные деформации отсутствуют, то

$$\delta Z_{\Phi} = 0. \quad (18)$$

Поэтому уравнение (13) примет вид

$$\delta Q = d\underline{U} + (\underline{u} + p\vartheta) g_{\kappa} d\tau. \quad (19)$$

Поскольку количество газа G в системе изменяется с течением времени, выражение для $d\underline{U}$ будет иметь вид

$$d\underline{U} = d(G\underline{U}) = \underline{U} dG + G d\underline{U}. \quad (20)$$

Следовательно,

$$\frac{d\underline{U}}{G} \neq d\underline{U}. \quad (21)$$

Аналогично (20)

$$dV = d(G\vartheta) = \vartheta dG + G d\vartheta. \quad (22)$$

Следовательно,

$$\frac{dV}{G} \neq d\vartheta. \quad (23)$$

С учетом выражений (21) и (22) уравнение (19) можно записать следующим образом

$$\delta Q = \underline{U} dG + G d\underline{U} + (\underline{U} + p\vartheta) g_{\kappa} d\tau. \quad (24)$$

При начальном количестве газа $G_{\text{н}}$ в момент времени τ в системе останется

$$G = G_{\text{н}} - g_{\kappa} \tau. \quad (25)$$

Тогда

$$dG = -d(g_{\kappa} \tau). \quad (26)$$

Подставляя в уравнение (24) выражение для G и dG из (25) и (26), получим

$$\delta Q = -\underline{U} d(g_{\kappa} \tau) + (G_{\text{н}} - g_{\kappa} \tau) d\underline{U} + (\underline{U} + p\vartheta) g_{\kappa} d\tau. \quad (27)$$

Заменяя dQ на выражение

$$\delta Q = KF(T_{\text{oc}} - T) d\tau,$$

получим

$$KF(T_{\text{oc}} - T) d\tau + \underline{U} \tau d g_{\kappa} + \underline{U} g_{\kappa} d\tau - (G_{\text{н}} - g_{\kappa} \tau) d\underline{U} - (\underline{U} + p\vartheta) g_{\kappa} d\tau = 0. \quad (28)$$

Неадекватность уравнений (5) и (28), полученных на основе различных форм записи выражения первого начала термодинамики для одинаковых систем, очевидна. Вместе с тем, использование в уравнении (28) выражения для $d\underline{U}$ (20), полученного М.А. Мамонтовым в работе [7], делает уравнение (28) термодинамически более коррективным по сравнению с уравнением (5) С.А. Бобровского, таким образом, дальнейшее изучение процессов с переменной массой газа в низкотемпературных системах трубопроводного транспорта природного газа целесообразно проводить на основе формы записи первого начала термодинамики, полученной М.А. Мамонтовым.

Периодический процесс выпаривания, протекающий в аппарате при его заполнении легкокипящей жидкостью

Рассмотрим далее на основе уравнения М.А. Мамонтова (12) периодический процесс выпаривания, протекающий в аппарате при его заполнении легкокипящей жидкостью (ЛКЖ).

Для процесса с одной точкой отбора образующегося пара уравнение (12) примет вид

$$\delta Q = d\underline{U} + \Pi_{\kappa} g_{\kappa} d\tau. \quad (29)$$

Расход энергии за время $d\tau$ равен

$$\Pi_{\kappa} g_{\kappa} d\tau = \underline{U}_{\text{п}} g_{\kappa} d\tau + p dV_{\text{п}}, \quad (30)$$

где $\underline{U}_{\text{п}}$ – удельная внутренняя энергия пара на выходе из аппарата; p – текущее давление пара на выходе из аппарата; $dV_{\text{п}}$ – ушедший за время $d\tau$ объем пара.

Вес ушедшего пара

$$g_{\kappa} d\tau = \frac{dV_{\text{п}}}{\vartheta_{\text{п}}}, \quad (31)$$

где $V_{\text{п}}$ – текущий удельный объем пара в аппарате;

$p dV_{\text{п}}$ – работа, затрачиваемая на преодоление сопротивления в конце потока.

Разделим левую и правую части уравнения (30) на $g_{\kappa} d\tau$ и получим

$$\Pi_{\kappa} = \underline{U}_{\text{п}} + \frac{p dV_{\text{п}}}{g_{\kappa} d\tau}. \quad (32)$$

Заменяя $g_{\kappa} d\tau$ на $\frac{dV_{\text{п}}}{\vartheta_{\text{п}}}$, перепишем выражение

$$\Pi_{\kappa} = \underline{U}_{\text{п}} + p\vartheta_{\text{п}}. \quad (33)$$

В итоге уравнение (29) примет вид

$$\delta Q = d\underline{U} + (\underline{U}_{\text{п}} + p\vartheta_{\text{п}}) g_{\kappa} d\tau. \quad (34)$$

Поскольку количество жидкости в аппарате $G_{\text{ж}}$ и пара $G_{\text{п}}$ и изменяются в течение времени, выражение для $d\underline{U}$ записывается следующим образом

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$$d\underline{U} = d\underline{U}_{\underline{жс}} + d\underline{U}_{\underline{н}} = d(G_{\underline{жс}} \underline{U}_{\underline{жс}}) + d(G_{\underline{н}} \underline{U}_{\underline{н}}), \quad (35)$$

где

$$d(G_{\underline{жс}} \underline{U}_{\underline{жс}}) = \underline{U}_{\underline{жс}} dG_{\underline{жс}} + G_{\underline{жс}} d\underline{U}_{\underline{жс}}; \quad (36)$$

$$d(G_{\underline{н}} \underline{U}_{\underline{н}}) = \underline{U}_{\underline{н}} dG_{\underline{н}} + G_{\underline{н}} d\underline{U}_{\underline{н}}. \quad (37)$$

С учетом выражений (35), (36) и (37) уравнение (34) примет вид:

$$\delta Q = \underline{U}_{\underline{жс}} dG_{\underline{жс}} d\underline{U}_{\underline{жс}} + \underline{U}_{\underline{н}} G_{\underline{н}} + G_{\underline{н}} d\underline{U}_{\underline{н}} + (\underline{U}_{\underline{н}} + p\vartheta) g_{\underline{к}} d\tau. \quad (38)$$

При начальном количестве жидкости $G_{\underline{нж}}$ в момент времени τ в аппарате останется

$$G_{\underline{нж}} = G_{\underline{нж}} - g_{\underline{к}} \tau. \quad (39)$$

Тогда при $q_{\underline{к}} = \text{const}$

$$dG_{\underline{жк}} = -g_{\underline{к}} d\tau. \quad (40)$$

Если $g_{\underline{к}} \neq \text{const}$ (например, при изменяющемся коэффициенте теплопередачи)

$$dG_{\underline{жк}} = -(g_{\underline{к}} d\tau + \tau dg_{\underline{к}}). \quad (41)$$

При начальном количестве жидкости в аппарате $G_{\underline{нж}}$ начальное количество пара равно

$$G_{\underline{нп}} = (V_{\underline{геом}} - G_{\underline{нж}} \vartheta_{\underline{жс}}) \frac{1}{\vartheta_{\underline{н}}}. \quad (42)$$

В момент времени τ в аппарате находится пара

$$G_{\underline{н}} = (V_{\underline{геом}} - G_{\underline{жс}} \vartheta_{\underline{жс}}) \frac{1}{\vartheta_{\underline{н}}}. \quad (43)$$

или

$$G_{\underline{н}} = \frac{V_{\underline{геом}}}{\vartheta_{\underline{н}}} - \frac{G_{\underline{жс}} \vartheta_{\underline{жс}}}{\vartheta_{\underline{н}}} = \frac{V_{\underline{геом}}}{\vartheta_{\underline{н}}} - (G_{\underline{нж}} - g_{\underline{к}} \tau) \frac{\vartheta_{\underline{жс}}}{\vartheta_{\underline{н}}}, \quad (44)$$

$$dG_{\underline{н}} = d \left[\frac{V_{\underline{геом}}}{\vartheta_{\underline{н}}} - (G_{\underline{нж}} - g_{\underline{к}} \tau) \frac{\vartheta_{\underline{жс}}}{\vartheta_{\underline{н}}} \right], \quad (45)$$

где $\vartheta_{\underline{н}}$, $g_{\underline{к}}$, τ , $\vartheta_{\underline{жс}}$ – в общем случае величины переменные.

Подставив в уравнение (38) выражения $G_{\underline{жк}}$, $dG_{\underline{жк}}$ (39) и (41), выражения для $G_{\underline{нп}}$ и $dG_{\underline{нп}}$ (44) и (45) получим

$$\begin{aligned} \delta Q = & -\underline{U}_{\underline{жс}} (g_{\underline{к}} d\tau + \tau dg_{\underline{к}}) + (G_{\underline{нж}} - g_{\underline{к}} \tau) d\underline{U}_{\underline{жс}} + \\ & + \underline{U}_{\underline{н}} d \left[\frac{V_{\underline{геом}}}{\vartheta_{\underline{н}}} - (G_{\underline{нж}} - g_{\underline{к}} \tau) \frac{\vartheta_{\underline{жс}}}{\vartheta_{\underline{н}}} \right] + \\ & + \frac{1}{\vartheta_{\underline{н}}} [V_{\underline{геом}} - (G_{\underline{нж}} - g_{\underline{к}} \tau) \vartheta_{\underline{жс}}] d\underline{U}_{\underline{н}} + (\underline{U}_{\underline{н}} + p\vartheta) g_{\underline{к}} d\tau. \end{aligned} \quad (46)$$

В то же время

$$\delta Q = d[K(T_{\underline{ист}} - T)F\tau], \quad (47)$$

где K – текущий коэффициент теплопередачи в процессе выпаривания;

F – текущая поверхность теплообмена;

$T_{\underline{ист}}$ – температура источника тепла;

T – текущая температура в аппарате.

Из уравнения (46) и (47) получаем основное

уравнение периодического процесса выпаривания

$$\begin{aligned} & -\underline{U}_{\underline{жс}} (g_{\underline{к}} d\tau + \tau dg_{\underline{к}}) + (G_{\underline{нж}} - g_{\underline{к}} \tau) d\underline{U}_{\underline{жс}} \\ & + \underline{U}_{\underline{н}} d \left[\frac{V_{\underline{геом}}}{\vartheta_{\underline{н}}} - (G_{\underline{нж}} - g_{\underline{к}} \tau) \frac{\vartheta_{\underline{жс}}}{\vartheta_{\underline{н}}} \right] + \\ & + \frac{1}{\vartheta_{\underline{н}}} [V_{\underline{геом}} - (G_{\underline{нж}} - g_{\underline{к}} \tau) \vartheta_{\underline{жс}}] d\underline{U}_{\underline{н}} \\ & + (\underline{U}_{\underline{н}} + p\vartheta) g_{\underline{к}} d\tau - d[K(T_{\underline{ист}} - T)F\tau] = 0. \end{aligned} \quad (48)$$

Изобарный процесс заполнения теплого сосуда легкокипящей жидкостью

Для реализации процесса при $p = \text{const}$ требуется наряду с подачей ЛКЖ отводить из сосуда избыток образующихся паров. Следовательно, такая система имеет два канала миграции. Уравнение (12) для нее примет вид

$$\delta Q + \Pi g d\tau = d\underline{U} + \Pi_{\underline{к}} g_{\underline{к}} d\tau. \quad (49)$$

где $\Pi g d\tau$ – количество энергии, поступившее в сосуд в связи с притоком $g d\tau$ ЛКЖ;

$\Pi_{\underline{к}} g_{\underline{к}} d\tau$ – количество энергии, уходящее из сосуда в связи с отбором $g_{\underline{к}} d\tau$ кг пара ЛКЖ;

$$\Pi g d\tau = (\underline{U}_{\underline{ж}} + \underline{U}_{\underline{к}}) g d\tau. \quad (50)$$

Пренебрегая трением, можно записать

$$\Pi_{\underline{к}} g_{\underline{к}} d\tau = (\underline{U}_{\underline{п}} + p\vartheta_{\underline{п}}) g_{\underline{к}} d\tau, \quad (51)$$

$$d\underline{U} = d\underline{U}_{\underline{жс}} + d\underline{U}_{\underline{н}} = d(G_{\underline{жс}} \underline{U}_{\underline{жс}}) + d(G_{\underline{н}} \underline{U}_{\underline{н}}), \quad (52)$$

где $G_{\underline{жк}}$ и $G_{\underline{п}}$ – соответственно изменяющиеся во времени количество жидкости и пара.

$$G_{\underline{ж}} = G_{\underline{жн}} + (g - g_{\underline{к}}) \tau, \quad (53)$$

$$G_{\underline{жк}} = \tau d(g - g_{\underline{к}}) + (g - g_{\underline{к}}) d\tau. \quad (54)$$

При начальном количестве жидкости в сосуд $G_{\underline{жн}}$ начальное количество пара

$$G_{\underline{нп}} = (V_{\underline{геом}} - G_{\underline{нж}} \vartheta_{\underline{жс}}) \frac{1}{\vartheta_{\underline{н}}}. \quad (55)$$

В момент времени τ в сосуде находится количество пара

$$G_{\underline{н}} = (V_{\underline{геом}} - G_{\underline{жс}} \vartheta_{\underline{жс}}) \frac{1}{\vartheta_{\underline{н}}}. \quad (56)$$

или

$$G_{\underline{н}} = \frac{V_{\underline{геом}}}{\vartheta_{\underline{н}}} - \frac{\vartheta_{\underline{жс}}}{\vartheta_{\underline{н}}} [G_{\underline{нж}} + (g - g_{\underline{к}}) \tau]. \quad (57)$$

и

$$dG_{\underline{н}} = d \left(\frac{V_{\underline{геом}}}{\vartheta_{\underline{н}}} - \frac{\vartheta_{\underline{жс}}}{\vartheta_{\underline{н}}} [G_{\underline{нж}} + (g - g_{\underline{к}}) \tau] \right), \quad (58)$$

где $\vartheta_{\underline{п}}$, $g_{\underline{к}}$, τ – в общем случае величины переменные.

Перепишем уравнение (49) с учетом выражений (50), (51) и (52)

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$$(\underline{U}_{жс} + \rho \vartheta_{жс}) g d\tau = d(G_{жс} \underline{U}_{жс}) + d(G_n \underline{U}_n) + (\underline{U}_n + \rho \vartheta_n) g_\kappa d\tau, \quad (59)$$

и подставив в полученное уравнение выражения (53), (57) и (47), получим

$$\begin{aligned} & (\underline{U}_{жс} + \rho \vartheta_{жс}) g d\tau + d[K(T_{ист} - T)F\tau] = \\ & = d\left([G_{нжс} + (g - g_{жс})\tau]\underline{U}_{жс}\right) + \\ & + d\left(\frac{V_{геом}}{\vartheta_n} - \frac{\vartheta_{жс}}{\vartheta_n} \left[G_{нжс} - \frac{\vartheta_{жс}}{\vartheta_n} (g - g_{жс})\tau\right]\underline{U}_n\right) + \\ & + (\underline{U}_n + \rho \vartheta_n) g_\kappa d\tau. \end{aligned} \quad (60)$$

Периодический процесс абсорбции, протекающий при наполнении резервуара с абсорбентом (чистый метан)

Подсистема, в которой протекает такой процесс, имеет один канал миграции для подвода пара. По условиям ведения процесса теплота должна отводиться. Уравнение (12) для рассматриваемой подсистемы запишется следующим образом:

$$\delta Q_a + \Pi g d\tau = d\underline{U}, \quad (61)$$

где $\Pi g d\tau$ – количество энергии, поступившее в абсорбер в связи с притоком $g d\tau$ кг пара; $-\delta Q_a$ – теплота абсорбции (отводимая).

В свою очередь,

$$\Pi g d\tau = (\underline{U}_n + \rho \vartheta_n) g d\tau, \quad (62)$$

$$d\underline{U} = d\underline{U}_a + d\underline{U}_n = d(G_a \underline{U}_a) + d(G_n \underline{U}_n), \quad (63)$$

где G_a и G_n – соответственно изменяющиеся во времени количества жидкости (насыщающегося абсорбента) и пара в абсорбере.

$$G_a = G_{на} + g d\tau \quad (64)$$

где $G_{на}$ – начальное количество жидкости (чистого слабого абсорбента).

$$dG_a = \tau dg + g d\tau. \quad (65)$$

При начальном количестве жидкости в абсорбере $G_{на}$ начальное количество неабсорбированного пара

$$G_{нн} = (V_{геом} - G_{на} \vartheta_{на}) \frac{1}{\vartheta_n}. \quad (66)$$

где $\vartheta_{на}$ – начальный удельный объем жидкости в системе.

В момент времени τ в подсистеме (абсорбере) или резервуаре находится непоглощенного пара

$$G_n = (V_{геом} - G_a \vartheta_a) \frac{1}{\vartheta_n}. \quad (67)$$

где ϑ_a и ϑ_n – соответственно текущие удельные объемы жидкости и пара.

$$dG_n = d\left[(V_{геом} - G_a \vartheta_a) \frac{1}{\vartheta_n}\right]. \quad (68)$$

Заменяя G_a на его выражение (64), получим

$$dG_n = d\left[\left[V_{геом} - (G_{на} + g\tau) \vartheta_a\right] \frac{1}{\vartheta_n}\right]. \quad (69)$$

Перепишем уравнение (61) с учетом выражений (62) и (63)

$$-\delta Q + (\underline{U}_n + \rho \vartheta_n) g d\tau = d(G_a \underline{U}_a) + d(G_n \underline{U}_n), \quad (70)$$

и, подставив в полученное уравнение выражения (64) и (67), получим

$$\delta Q + (\underline{U}_n + \rho \vartheta_n) g d\tau = \delta Q_g \tau = d\underline{U} + \Pi_\kappa g_\kappa d\tau. \quad (71)$$

Периодический процесс десорбции

В отличие от абсорбции в рассматриваемом процессе теплота подводится, а пар для поддержания постоянного давления в подсистеме должен отводиться. Уравнение (12) для такой подсистемы примет вид

$$\delta Q_g = d\underline{U} + \Pi_\kappa g_\kappa d\tau, \quad (72)$$

где $\Pi_\kappa g_\kappa d\tau$ – количество энергии, уходящее из подсистемы в связи с истечением $g_\kappa d\tau$ кг пара; δQ_g – теплота десорбции.

$$\Pi_\kappa g_\kappa d\tau = (\underline{U}_n + \rho \vartheta_n) g d\tau \quad (73)$$

и

$$d\underline{U} = d\underline{U}_a + d\underline{U}_n = d(G_a \underline{U}_a) + d(G_n \underline{U}_n), \quad (74)$$

G_a и G_n – соответственно количество жидкости (беднеющего абсорбента) и пара в подсистеме, изменяющемся во времени.

$$G_a = G_{на} - g_\kappa \tau, \quad (75)$$

где $G_{на}$ – начальное количество абсорбента (насыщенного).

$$dG_a = -(\tau - dg_\kappa + g_\kappa d\tau), \quad (76)$$

и

$$G_{нн} = (V_{геом} - G_{на} \vartheta_{на}) \frac{1}{\vartheta_n}, \quad (77)$$

где $\vartheta_{на}$ – начальный удельный объем жидкости в системе.

В момент времени τ в подсистеме (десорбере или резервуаре) находится пара

$$G_n = (V_{геом} - G_a \vartheta_a) \frac{1}{\vartheta_n}, \quad (78)$$

Заменяя G_a на его выражение из (75), получим

$$G_n = (V_{геом} - (G_{на} - g_\kappa \tau) \vartheta_a) \frac{1}{\vartheta_n}. \quad (79)$$

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Используя полученные выражения для $d\underline{U}$, G_a и G_n , перепишем уравнение (72)

$$\delta Q = d \left([G_{na} - g_k \tau] \vartheta_a \right) + d \left(\left[\frac{V_{geom}}{\vartheta_n} - (G_{na} g \tau) \frac{\vartheta_a}{\vartheta_n} \right] \underline{U}_n \right) + (\underline{U}_n + \rho \vartheta_n) g_k d\tau, \quad (80)$$

В уравнениях (70) и (80) δQ является функцией изменяющихся во времени концентраций жидкости и пара, смоченной поверхности, температурного уровня отвода (подвода) тепла, коэффициента теплопередачи, а также параметров мигрирующих потоков.

Возвращаясь к полученным термодинамическим уравнениям процессов опорожнения (28), заполнения (60), абсорбции (71) и десорбции (80), необходимо отметить, что они могут быть использованы в качестве основных уравнений в системах уравнений, описывающих изменение интересующих нас параметров в подсистемах низкотемпературных систем трубопроводного транспорта природного газа.

Литература

1. Редькин В.В. Разработка и исследование оптимизационной математической модели низкотемпературной системы трубопроводного транспорта смесей углеводородных газов: дис. канд. техн. наук: 05.04.03. М.-Л., 1975. 151 с.
2. Редькин В.В., Кемаев О.В., Коробков А.А., Кулик М.В. Разработка метано-кислородной энерготехнологии и энерготехнологической системы производства электроэнергии, гомологов метана, этилена и пропилена из неразделенного сжиженного природного и попутного нефтяного газов. // Известия Института инженерной физики, 2013. №4(30). С. 95-102.
3. Едигаров С.Г., Бобровский С.А. Проектирование нефтебаз и газохранилищ. М.: Недра, 1973. 367 с.
4. Бошнякович Ф. Техническая термодинамика. Ч. 1. М., Л.: Госэнергоиздат, 1955. 438 с.
5. Richarts F., und Haupt K. Uatersuchungen uber das Temperaturverhalten. Gaswarme 3, 1973. P. 99-104.
6. Трайбус М. Термодинамика и термостатика. М.: Энергия, 1970. 502 с.
7. Мамонтов М.А. Некоторые случаи течения газа по трубам, насадкам и проточным сосудам. М.: Оборонгиз, 1951. 490 с.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 665.632+620.93

РАЗРАБОТКА УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОДОГРЕВА ГАЗА В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ*

Виктор Васильевич Редькин

*почетный работник науки и техники РФ,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник*

ведущий научный сотрудник
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(926)860-73-37
E-mail: oniokr@mail.ru

Олег Владимирович Кемаев

кандидат технических наук

старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: kemkonk@mail.ru

Алексей Александрович Коробков

кандидат технических наук, доцент

начальник отдела планирования НИОКР
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: korobkow@mail.ru

Максим Васильевич Кулик

научный сотрудник

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: mklik@mail.ru

Статья посвящена разработке уравнений для расчета подогрева газа в низкотемпературных трубопроводах. Рассмотрены процессы: нагревания сжиженного газа в остановленном трубопроводе за счет теплопритоков из окружающей среды; нагревания остановленного надземного изолированного трубопровода с охлажденным или сжиженным газом

Article is devoted to the development of equations to calculate the low-temperature heating gas in pipelines. The processes: heating of liquefied gas in the pipeline is stopped due to heat leakage from the environment; heating stopped Skytrain insulated pipe with a chilled or liquefied gas.

Ключевые слова: коэффициент теплоотдачи, низкотемпературные трубопроводные системы газопередачи, сжиженный природный газ, термодинамические уравнения, уравнение теплового баланса.

Key words: the heat transfer coefficient, low-temperature gas transmission pipeline systems, liquefied natural gas, the thermodynamic equation, the heat balance equation.

Введение

Тепловое взаимодействие перекачиваемого охлажденного или сжиженного газа с окружающей средой существенно влияет на режим эксплуатации и оптимальные параметры низкотем-

пературных трубопроводных систем газопередачи [1].

При расчете тепловых режимов рассматриваемых систем необходимо учитывать нагревание движущегося газа за счет:

- 1) теплопритоков через изоляцию трубопроводов;
- 2) сжатия газа в перекачивающих агрегатах.

Следует иметь в виду также случай, когда сжиженный газ нагревается в остановленном трубопроводе за счет теплопритоков из окружающей среды. Отсутствие необходимого запаса охлаждения у сжиженного газа на такого

* Исследования проводятся в рамках выполнения стипендиальных исследований Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики на 2013-2015 гг., № СП-1952.2013.1 «Исследование влияния содержания гомологов метана в природном газе на режимные параметры и термодинамические характеристики его низкотемпературного транспорта в состоянии недогретой жидкости».

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

рода аварийную ситуацию может привести либо к разрыву трубопровода, либо к большим потерям газа при сбросе.

В связи с этим расчет времени нагревания трубопровода с остановленным сжиженным газом приобретает особое значение.

Суммарный запас охлаждения сжиженного газа, таким образом равен

$$\sum \Delta t_i = \Delta t_{из} + \Delta t_{нас} + \Delta t_{ост} + \Delta t_{отр.др.}, \quad (1)$$

где $\Delta t_{из}$ – величина охлаждения сжиженного газа, компенсирующая теплопритоки через изоляцию трубопровода;

$\Delta t_{нас}$ – величина охлаждения сжиженного газа, компенсирующая тепло сжатие;

$\Delta t_{ост}$ – величина охлаждения сжиженного газа на случай остановки трубопровода;

$\Delta t_{отр.др.}$ – величина охлаждения сжиженного газа, компенсирующая отрицательный дроссель эффект.

Процесс нагревания газа при стационарном движении по надземному изолированному трубопроводу

Для определения величины $\sum \Delta t_i$ вначале необходимо рассмотреть процесс нагревания охлажденного или сжиженного газа при стационарном движении по надземному изолированному трубопроводу. Если пренебречь термическим сопротивлением теплоотдачи от внутренней поверхности трубы и термическим сопротивлением стенки трубы, то можно написать выражение для теплового потока через изолированную трубу на 1 погонный метр (п.м) длины

$$(q_{oc})_{nm} = \frac{\pi(t_0 - t)}{\frac{1}{\alpha_n D_{из}} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{D_{из}}{D}}, \quad (2)$$

где t_0 – температура окружающей среды;

t – текущая температура газа;

α_n – коэффициент теплоотдачи от окружающей среды к поверхности изолированного трубопровода;

$D_{из}$ – внешний диаметр изолированного трубопровода;

$\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности изоляции;

D – диаметр трубопровода без изоляции.

Теплоприток из окружающей среды dq_{oc} к участку трубопровода длиной dL в единицу времени находится из выражения.

$$dq_{oc} = (q_{oc})_{nm} dL, \quad (3)$$

При движении газа по трубопроводу выделяется тепло трения, однако оно скомпенсируется охлаждением при расширении на счет Δp .

Поэтому эффект при $(+L_i)$ дроссельный эффект $dq_{др} = 0$. (4)

Если $L_i < 0$ дело осложняется.

$$-dp = \lambda_i \frac{W_c^2}{2D} dL, \quad (5)$$

где λ_i – коэффициент трения;

W_c – линейная скорость потока;

D – диаметр трубопровода;

dp – падение давления потока на участке трубопровода длиной dL .

Коэффициент трения λ_i является функцией R_e и относительной шероховатости E и может быть рассчитан по формуле В.И. Черникина [2]

$$\lambda_i = \left(-1,83 \lg \left[\left(\frac{E}{7,4} \right)^{1,093} + \frac{8,5}{R_e} \right] \right)^{-2}, \quad (6)$$

где E – шероховатость, отнесенная к радиусу трубопровода.

R_e , в свою очередь, является функцией изменяющихся по длине трубопровода величин ρ и m (плотности и динамического коэффициента вязкости).

Величина охлаждения сжиженного газа, компенсирующая его нагрев в насосе $\Delta t_{нас}$, определяется по уравнению, предложенному в работе [3],

$$\Delta t_{нас} = \left(\frac{\vartheta}{\eta_g C_p} + D_T \right) \cdot (p_{наг} - p_{всас}), \quad (7)$$

где $p_{наг}$ и $p_{всас}$ – соответственно давление в нагнетательном и всасывающем патрубках насоса;

η_g – внутренний КПД насоса;

ϑ , C_p , D_T – средние значения удельного объема, изобарной теплоёмкости и коэффициента Джоуля-Томсона для жидкости в интервале температур и давлений во всасывающем и нагнетательном патрубках насоса.

Нагревание остановленного надземного изолированного трубопровода с газом

Рассмотрим теперь нагревание остановленного надземного изолированного трубопровода с охлажденным или сжиженным газом.

Газ, находящийся в 1 п.м трубы, за время dt нагревается на dt поглотит тепло

$$dq_{ногл} = \frac{\pi D^2}{4} \rho C_p dt, \quad (8)$$

Из окружающей среды за время dt должно поступить такое же количество тепла

$$dq_{носл} = dq_{ногл} = \frac{\pi(t_0 - t) dt}{\frac{1}{\alpha_n D_{из}} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{D_{из}}{D} + \frac{1}{\alpha_{вн} D}}, \quad (9)$$

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

где $\alpha_{вн}$ – коэффициент теплоотдачи от внутренней стены трубопровода к сжиженному газу.

Остальные обозначения те же, что и в уравнении (2).

Уравнение теплового баланса запишется так:

$$\frac{D^2}{4} \rho C_p dt = \frac{(t_0 - t) d\tau}{\frac{1}{\alpha_n D_{уз}} + \frac{1}{2\lambda_{уз}} \ln \frac{D_{уз}}{D} + \frac{1}{\alpha_{вн} D}}. \quad (10)$$

Обозначим:

$$R = \frac{D^2 \rho C_p}{4};$$

$$W = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n D_{уз}} + \frac{1}{2\lambda_{уз}} \ln \frac{D_{уз}}{D} + \frac{1}{\alpha_{вн} D}}.$$

Перепишем уравнение (4)

$$R dt = W d\tau (t_0 - t). \quad (11)$$

Разделим переменные и проинтегрируем от $t_{кн}$ до $t_{кост}$ ($t_{кн}$ – температура газа перед станцией восстановления параметров перекачки; $t_{кост}$ – температура газа, до которой он нагревается за время остановки трубопровода).

$$\tau = \frac{R}{W} \int_{t_{кн}}^{t_{кост}} \frac{dt}{t_0 - t}. \quad (12)$$

откуда

$$\tau = \frac{R}{W} \int_{t_{кн}}^{t_{кост}} \ln \frac{t_0 - t_{кн}}{t_0 - t_{кост}}. \quad (13)$$

Решая уравнение (11) относительно t , запишем

$$\int_{t_{кн}}^{t_{кост}} \frac{dt}{t_0 - t} = \frac{W}{R} \int_{\tau=0}^{\tau_{авар}} d\tau, \quad (14)$$

где $\tau_{авар}$ – регламентированное время ремонта оставленного трубопровода.

$$\ln \frac{t_0 - t_{кн}}{t_0 - t_{кост}} = \frac{W}{R} \tau_{авар}, \quad (15)$$

откуда

$$\frac{t_0 - t_{кн}}{t_0 - t_{кост}} = \exp\left(\frac{W}{R} \tau_{авар}\right). \quad (16)$$

В результате получаем

$$t_{кост} = t_0 - (t_0 - t_{кн}) \cdot \exp\left(\frac{W}{R} \tau_{авар}\right). \quad (17)$$

Рассчитав по уравнению (17), определяем

$$\Delta t_{ост} = t_{кост} - t_{кн}. \quad (18)$$

Используя уравнения (1), (7) и (18), легко рассчитать требуемую начальную температуру транспорта сжиженного газа (на выходе из станции восстановления параметров перекачки)

$$t_{н1} = t_{кк} - \sum \Delta t_i, \quad (19)$$

где $t_{кк}$ – температура конца конденсации сжиженного газа.

Необходимо также отметить, что в тех случаях, когда при дросселировании газ нагревается [4], следует предусматривать дополнительное охлаждение сжиженного природного газа для компенсации отрицательного дроссель-эффекта.

Литература

1. Редькин В.В. Разработка и исследование оптимизационной математической модели низкотемпературной системы трубопроводного транспорта смесей углеводородных газов: дис. канд. техн. наук: 05.04.03. М.-А., 1975. 151 с.
2. Едигаров С.Г., Бобровский С.А. Проектирование нефтебаз и газохранилищ. М.: Недра, 1973. 367 с.
3. Трошин А.К., Шарихин В.В. Повышение температуры сжиженного и газообразного метана при сжатии в насосах или компрессорах // Транспорт и хранение газа. М.: ВНИИЭГазпром, 1970. №10. С. 3-10.
4. Редькин В.В., Кемаев О.В., Коробков А.А., Кулик М.В. Разработка метано-кислородной энерготехнологии и энерготехнологической системы производства электроэнергии, гомологов метана, этилена и пропилена из неразделенного сжиженного природного и попутного нефтяного газов // Известия Института инженерной физики, 2013. №4(30). С. 95-102.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 629.039.58; 623; 625

ОБОБЩЕННАЯ ПРОСТРАНСТВЕННО- ГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗКИ ЭЛЕМЕНТОВ РАКЕТНОГО ВООРУЖЕНИЯ ПО ЖЕЛЕЗНЫМ ДОРОГАМ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Александр Евгеньевич Попов

кандидат технических наук, доцент
начальник кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17

Данила Петрович Мотасов

начальник штаба
войсковая часть 31600



Рассматривается подход к решению задачи моделирования процесса организации перевозки элементов ракетного вооружения в условиях существующей транспортной системы.

Approach to the problem of modeling of the transport of items of missile weapons in the conditions of the existing transport system.

Ключевые слова: элементы ракетного вооружения, транспорт, организация, перевозка, модель, конструктивный элемент, маршрут, безопасность.

Key words: elements of the missile arms, transport, organization, transportation, model, constructive element, route, safety.

Одним из этапов жизненного цикла элементов ракетного вооружения (ЭРВ) является этап его перемещения и транспортирования с применением различного транспорта. Лидирующее положение среди различных видов транспорта сохраняется за железнодорожным транспортом. Транспортирование ЭРВ осуществляется по железнодорожной транспортной системе общего назначения, представляющей собой сложную функциональную систему, в которой происходят непрерывные процессы взаимодействия важных потребностей и интересов государства с угрозами этим потребностям и интересам.

Железные дороги, входящие в транспортную систему охватывают значительную часть территории России, и представляют собой развитую сеть, в состав которой входят объекты транспортной системы – конструктивные элементы различные по их количеству и возможному расположению: станции; железнодорожные переезды; стрелки; мосты; тоннели; искусственные сооружения; собственные производства; подвижной состав и т.д. Совокупность всех конструктивных элементов, участков транспортной инфраструктуры сети железных дорог образуют множество $\Theta = \{\vartheta_i\}$, $i = \overline{1, I}$.

При этом конструктивные элементы транспортной инфраструктуры сети железных до-

рог образуют территориальные зоны (участки) маршрутов по которым осуществляется транспортирование ЭРВ, которые можно разделить на две характерные группы:

- первая группа конструктивных элементов и участков транспортной инфраструктуры сети железной дороги, на которых транспорт с ЭРВ находится в движении;

- вторая группа конструктивных элементов и участков транспортной инфраструктуры сети железной дороги, на которых транспорт с ЭРВ находится не в движении и с ним проводятся работы, предусмотренные условиями организации перевозок и нормативными документами.

Вместе с тем транспортная система страны при современной интенсивности движения является потенциальным источником возникновения аварийных и чрезвычайных ситуаций с большим числом пострадавших, наступлением неблагоприятных экологических последствий. К основным факторам риска транспортной системы относятся: перевозки большого количества и наименований различных грузов; присутствие значительного количества людей в зоне действия транспортной системы; значительный износ основных фондов транспортной системы; сохранение уязвимости при совершении террористических актов; подверженность чрезвы-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

чайным ситуациям природного характера; наличие многочисленных мест пересечения, различных участков движения по интенсивности и скорости движения. Дополняющими факторами повышенной опасности является то, что по сети железных дорог перевозится значительное число (до 23 % от общего числа) опасных грузов (ОГ) – более 2500 наименований, т.е. суммарно до 250 млн тонн в год, 8 классов опасности, 905 аварийных карточек. В их числе 62 наименования особо опасных грузов (5-7% от общей массы ОГ), что создает угрозу чрезвычайных ситуаций в результате сходов, столкновений и утечек ОГ с их последующим развитием по пожаровзрывоопасному сценарию, что в итоге может привести к взрывам и химическим отравлениям с большой зоной поражения людей [5, 6].

Таким образом, транспортная система S , по которой осуществляется транспортирование ЭРВ, представляет собой несомненную опасность для людей и окружающей среды. Следует признать тот факт, что исходя из условий состояния транспортной системы, темпов ее реорганизации, основной опасностью будет возможность возникновения аварийной (чрезвычайной) ситуации при перевозках транспортом по дорогам общего назначения.

К особенностям организации транспортирования ЭРВ следует отнести: многократное перемещение ЭРВ (перегрузка) из транспортных средств; переменное количество ЭРВ k -го типа, предназначенных для транспортирования; переменное количество транспортных средств n -го типа, задействованное для транспортирования k -го типа ЭРВ; ограниченное количество личного состава, обеспечивающего транспортирование ЭРВ; продолжительное время нахождения ЭРВ k -го типа в транспортном средстве n -го типа при транспортировании за пределами охраняемой территории.

Для описания структурного состояния и функционирования транспортной системы S , отображающей пространственное положение объектов транспортной системы, транспортных средств с ЭРВ (железнодорожного эшелона), возможных вариантов выбора маршрутов транспортирования между различными предприятиями и объектами построим обобщенную пространственно-графическую модель организации перевозки ЭРВ по железным дорогам общего назначения.

Обобщенная пространственно-графическая модель организации перевозки ЭРВ по железным дорогам общего назначения есть модель транспортной системы, содержащей конструктивные элементы (станции), территориальные

зоны (участки) возможных маршрутов транспортирования ЭРВ между предприятиями и объектами в условиях возможного поражения объектов транспортной системы и повлекшего причинение ущерба.

Задача S по организации перевозки ЭРВ между объектами характеризуется: наличием множества вариантов маршрутов транспортирования $M = \{M_j, j = \overline{1, J}\}$ между заданными предприятиями и объектами. Все ε_i конструктивные элементы (станции), территориальные зоны (участки) множества \mathcal{E} находятся в состоянии пригодном для транспортировки ЭРВ. При этом следует отметить, что для различных предприятий и объектов множество вариантов (комбинаций) выбора маршрутов транспортирования СБП $M = \{M_1, M_2, \dots, M_j, j = \overline{1, J}\}$ различно.

В условиях возможного поражения объектов транспортной системы на любом ε_i конструктивном элементе могут произойти ситуации, в результате которых изменяются режимы функционирования и взаимного воздействия между конструктивными элементами (станциями) и территориальными зонами (участками), что может привести к изменению пространственного положения и состояния транспортных средств X с ЭРВ. Каждый конструктивный элемент (станций), территориальная зона (участок) маршрута транспортирования ЭРВ может иметь конечное число m состояний. Состояния одного конструктивного элемента (станции) или территориальной зоны (участка) маршрута транспортирования ЭРВ произвольно сочетаются с состоянием других. Перевод конструктивного элемента (станции) или территориальной зоны маршрута транспортирования ЭРВ из одного состояния в другое является элементарным событием. Поскольку эти события заранее не предсказуемы, то не предсказуем исход и всего эксперимента. Такой эксперимент называется случайным. Математической моделью случайного процесса является вероятностное пространство.

Таким образом, обобщенная пространственно-графическая модель организации перевозки ЭРВ по железным дорогам общего назначения может характеризоваться вероятностным пространством

$$(S, Q, \mathcal{E}, X, \Omega, F, W),$$

где S – структурное состояние транспортной системы, отображающее все ее связи и характеризующая маршруты транспортирования;

Q – совокупность всех подмножеств S , характеризующих пространственное положение объектов транспортной системы и транспортных средств;

\mathcal{E} – множество объектов транспортной инфра-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

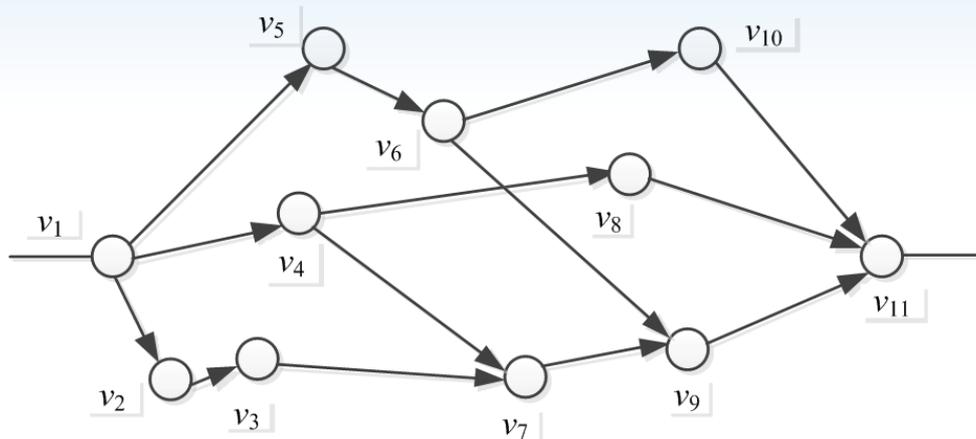


Рис. 1. Ориентированный граф G , отображающий организацию перевозки ЭРВ по железным дорогам общего назначения

структуры – конструктивных элементов, территориальных зон маршрутов транспортирования ЭРВ;

X – множество транспортных средств для транспортирования ЭРВ, характеризующихся различным количеством, типом транспортных средств;

Ω – множество внутренних состояний объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств;

F – множество негативных и других (террористических) факторов, характеризующихся реализацией противоправных действий, направленных на поражение объектов транспортной системы и транспортного средства с ЭРВ;

W – состояния естественной среды, в которой действуют объекты транспортной инфраструктуры и транспортные средства.

Полученное вероятностное пространство $(S, Q, \mathcal{E}, X, \Omega, M, W)$ является моделью описания структурного состояния и функционирования транспортной системы S , отображающая пространственное положение объектов транспортной системы, транспортных средств (железнодорожного состава), возможные варианты выбора маршрутов транспортирования ЭРВ между различными предприятиями и объектами, а также определения перечня всех конструктивных элементов (станций), территориальных зон (участков) маршрутов транспортирования ЭРВ, которые находятся в состоянии пригодном для транспортировки ЭРВ.

Для наглядного и логического представления пространственного положения объектов транспортной системы, транспортных средств (железнодорожного состава), возможных вариантов выбора маршрутов транспортирования ЭРВ между различными предприятиями и объ-

ектами используем ориентированный в одном направлении граф G (рисунк 1).

Граф $G=(V,U)$ – это совокупность двух конечных множеств вершин V и множества пар вершин U . Элементы множества V – вершины графа, а множества U – дуги. Множества вершин V и множества ребер U запишем:

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{11}\},$$

$$U = \{(v_1, v_2), (v_1, v_4), (v_1, v_5), (v_2, v_3), (v_3, v_5), (v_4, v_7), (v_4, v_8), (v_5, v_6), (v_6, v_9), (v_6, v_{10}), (v_7, v_9), (v_8, v_{11}), (v_9, v_{11}), (v_{10}, v_{11})\}.$$

Множество вершин V – территориальные зоны (участки) маршрутов – конструктивные элементы и участки транспортной инфраструктуры сети железной дороги первой группы. Соответственно множество U – территориальные зоны (участки) маршрутов второй группы. Вершины графа v_1, v_{11} называются полюсами (соответственно вход и выход сети), а граф G – двухполюсная транспортная сеть с множеством вершин V и множеством дуг U .

Для решения задачи организация перевозки ЭРВ ориентированный граф G можно представить в виде матрицы смежности A (инциденции):

$$A = \begin{pmatrix} 0101100000 \\ 0010000000 \\ 0000001000 \\ 0000001100 \\ 0000010000 \\ 0000000110 \\ 0000000100 \\ 0000000001 \\ 0000000001 \\ 0000000001 \\ 0000000000 \end{pmatrix}$$

Организация перевозки ЭРВ по железным дорогам общего назначения представляет собой

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

потоковый процесс динамического характера, связанный с перемещением различного количества ЭРВ в пространстве. Причем, существование этого потока необходимо для обеспечения и поддержания технического состояния ракетного вооружения.

В настоящее время основная работа железнодорожной транспортной системы по доставке грузов реализована путем выбора кратчайшего расстояния для маршрутов следования железнодорожного транспорта – эшелона. Такие маршруты сложились исторически и экономически обоснованно, как логическое звено технологической цепочки от отправителя до получателя.

Несмотря на стабильное в целом положение с безопасностью движения поездов, фактическое и прогнозируемое состояние безопасности железнодорожных технических систем, с учетом действующих факторов риска, не может рассматриваться как однозначно идеальное. При подготовке маршрутов следования составов с ЭРВ не принимается во внимание обоснование значений показателей безопасности движения с учетом риска возникновения события, связанного с возможным поражением, нарушением функционирования i -го конструктивного элемента (станции), территориальной зоны (участка) маршрута транспортирования, изменением режимов их функционирования и взаимного воздействия между ними и повлекшего причинение ущерба.

Разработанная обобщенная пространственно-графическая модель организации перевозки ЭРВ представляет собой общий вид схемы функционирования транспортной системы, включающей маршруты транспортирования ЭРВ и по-

зволяет анализировать процессы, происходящие в транспортной системе, что дает возможность определить перечень всех конструктивных элементов (станций), территориальных зон (участков) маршрутов транспортирования ЭРВ, которые находятся в состоянии пригодном для транспортировки ЭРВ и в дальнейшем определить наиболее безопасные элементы и участки маршрутов транспортирования ЭРВ, обеспечив управление безопасностью транспортирования ЭРВ.

Литература

1. Анфилатов В.С. и др. Системный анализ в управлении: учебное пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; Под. ред. А.А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2005. 368 с.
2. Фомин Г.П. Математические методы и модели в коммерческой деятельности: учебник / Г.П. Фомин. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, ИНФРА-М, 2009. 640 с.
3. Стиславский А.Б. Управление рисками нарушения безопасности инфраструктуры транспортного комплекса: автореф. дис. док. тех. наук: 05.13.01 / Стиславский Александр Борисович. М., 2010. 153 с.
4. Мартынюк И.В. Повышение безопасности железнодорожных перевозок опасных грузов с учетом взаимодействия с другими транспортом и окружающей средой: дис. кан. тех. наук: 05.22.01 / Мартынюк Игорь Владимирович. Ростов-на-Дону, 2007. 155 с.
5. Подготовка системы исходных данных по группе показателей риска возникновения чрезвычайных ситуаций с разработкой методов анализа риска наступления опасных событий. отчет о НИР // Ростов-на-Дону. Ростовский гос. университет путей сообщений, 2008. 88 с.
6. Анализ работы дорожных комиссий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности (НКЧС). М.: ЦРБ ОАО «РЖД». 2010. 64 с.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.237

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЛИВНЕЙ

Александр Викторович Синьговский

кандидат физико-математических наук

руководитель группы
Университет штата Миннесота, США
Адрес: Switzerland, CH-1211, Geneva, 23
Тел.: +41 22 76 74271
E-mail: Alexander.Singovski@cern.ch

Сергей Иванович Битюков

доктор физико-математических наук

ведущий научный сотрудник
ФГБУ ГНЦ РФ ИФВЭ НИЦ
«Курчатовский институт»
Адрес: 142281, Московская обл.,
г. Протвино, ул. Победы, д. 1
E-mail: Serguei.Bitoukov@cern.ch

Вера Васильевна Смирнова

кандидат физико-математических наук

старший научный сотрудник
ФГБУ ГНЦ РФ ИФВЭ НИЦ
«Курчатовский институт»
Адрес: 142281, Московская обл.,
г. Протвино, ул. Победы, д. 1
E-mail: Vera.Smirnova@ihep.ru

В работе рассматривается метод идентификации и разделения двух слившихся электромагнитных ливней в электромагнитных калориметрах. Метод использует статистические моменты зарегистрированного распределения энерговыделения в калориметре для оценки энергии и координат ливней. Метод применим для перекрывающихся спектров или сигналов одинаковой формы.

The paper shows the applicability of the moments method for identification and separation of pair of electromagnetic showers. The empirical statistical moments of registered energy of sum of two overlapping showers are used for estimation of energy and coordinates of each shower.

Ключевые слова: неопределенность, измерение, оценка.

Key words: uncertainty, measurement, assessment.

Введение

Для регистрации фотонов и адронов высоких энергий применяются электромагнитные калориметры годоскопического (ячеистого) типа [1], являющиеся детекторами полного поглощения. В данных детекторах амплитудный анализ позволяет определить как полное энерговыделение, так и координаты центра тяжести распределения энерговыделения, которые могут служить оценками координат регистрируемых частиц.

Постановка задачи

Необходимо построить метод идентификации ливня и выделения распределения энерговыделения ливня из полного зарегистрированного энерговыделения в электромагнитном калориметре.

Характеристиками регистрируемого электромагнитного ливня в двумерном случае, возникшего в электромагнитном калориметре, являются случайные переменные: энерговыделение ливня E , координаты центра тяжести ливня x , y , начальные моменты m_1^x , m_2^x , m_3^x и m_1^y , m_2^y , m_3^y для соответствующих проекций, центральные и радиальный моменты μ_2^x , μ_3^x , μ_2^y , μ_3^y , μ_{12}^R , μ_{21}^R . Данные характеристики не зависят от ячеистой структуры калориметра и определяются средой развития ливня и случайной природой самого ливня. Предполагается, что калориметр является гомогенной средой.

Характеристиками зарегистрированного в калориметре электромагнитного ливня являются реализации перечисленных выше случайных переменных, полученные из оцифрованных и преобразованных сигналов с фотодетекторов калориметра. Обозначим их в соответствии с принятым в

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

математической статистике стандартом, а именно, теми же символами, но помеченными значком $\hat{\cdot}$.

Значения наблюдаемых величин, кроме наблюдаемого энерговыделения ливня \hat{E} , сильно зависят от координат центра тяжести ливня в ячейке калориметра. Эти зависимости можно восстановить как прямыми измерениями энерговыделения в калориметре от электромагнитных ливней, образованных частицами с известной энергией, так и используя модель электромагнитного ливня. Распределение энерговыделения в ливне от регистрируемой частицы деформировано дополнительным энерговыделением от фоновых частиц. Эта деформация в энерговыделении может быть использована для выделения электромагнитного ливня и уточнения его характеристик за счет сравнения измеренных характеристик ливня с теми характеристиками, которые должны соответствовать этому электромагнитному ливню.

Модель ливня

В работе рассматривается модель электромагнитного калориметра в виде матрицы 10×10 счетчиков полного поглощения с квадратной ячейкой в поперечном сечении 29×29 мм². Для исследования использовалась модель ливня, предложенная в работе [2].

Определим двумерное совместное распределение как

$$F(X, Y) = \int_{-\infty}^X \int_{-\infty}^Y f(x, y) dx dy \quad (1)$$

где $f(x, y)$ – плотность вероятности энерговыделения ливня, обрезанного в координатной плоскости (x, y) . Функция $f(x, y)$ показана на рисунке 1.

Энерговыделение в ячейке рассчитывается из значения кумулятивной функции (Ур.1) в углах ячейки:

$$G(XY) = F\left(X + \frac{d}{2}, Y + \frac{d}{2}\right) - F\left(X + \frac{d}{2}, Y - \frac{d}{2}\right) - F\left(X - \frac{d}{2}, Y + \frac{d}{2}\right) + F\left(X - \frac{d}{2}, Y - \frac{d}{2}\right). \quad (2)$$

Известно, что поперечные флуктуации электромагнитного ливня в гомогенной среде несущественны, то есть при идеальной регистрации ливня одномерные центральные моменты $\hat{\mu}_2$ и $\hat{\mu}_3$ подчиняются соотношениям $\hat{\mu}_2^x = \hat{\mu}_2^y = \text{const}$ и $\hat{\mu}_3^x = \hat{\mu}_3^y = 0$. Квадратная ячейка калориметра несет ответственность за сильное нарушение данных соотношений. Эти нарушения можно видеть на рисунке 2 ($d=29$ мм).

Идентификация одиночного электромагнитного ливня

Предположим, что в детекторе регистрируется два ливня с энерговыделениями $\hat{E}^{(1)}, \hat{E}^{(2)}$,

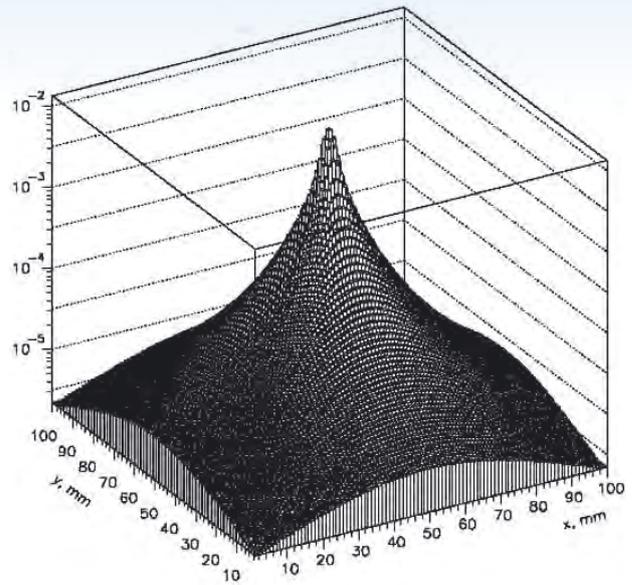


Рис. 1. Плотность вероятности $f(x, y)$ распределения энерговыделения ливня, обрезанного в координатной плоскости (x, y)

координатами центра тяжести $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ и плотностями вероятности энерговыделения ливней $f(x-x_1, y-y_1), f(x-x_2, y-y_2)$ с соответствующими статистическими моментами. В данном случае, если предполагать аддивность при суммировании энерговыделений от каждого ливня для представления видимого энерговыделения, регистрируемого в калориметре, то распределение энерговыделения можно описать моделью

$$g(x, y) = E^{(1)}f(x-x_1, y-y_1) + E^{(2)}f(x-x_2, y-y_2). \quad (3)$$

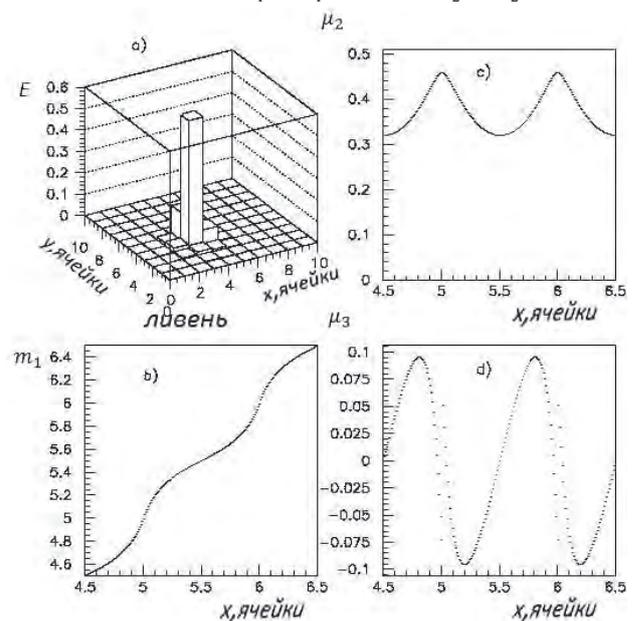


Рис. 2. Типичный ливень в ячейке размером $d=29$ мм (а). Зависимость наблюдаемых значений моментов $\hat{\mu}_1^x$ (б), $\hat{\mu}_2^x$ (с) и $\hat{\mu}_3^x$ (д) по координате x регистрируемой частицы.

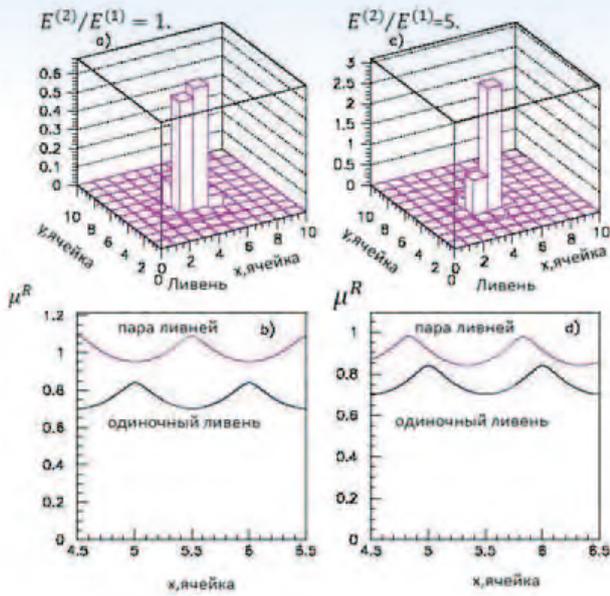


Рис. 3. Типичное энерговыделение для слившихся ливней для квадратной ячейки со стороной $d=29$ мм (расстояние между ливнями также равно 29 мм) и зависимость наблюдаемых значений моментов $\hat{\mu}_2^R$ от x -координаты центра тяжести энерговыделения (y -координата фиксирована) для одиночного ливня (нижняя кривая) и для пары ливней (верхняя кривая). Рисунки (а) и (б) относятся к ливням с отношением энергий $\frac{E^{(2)}}{E^{(1)}}=1$, а рисунки (с) и (д) относятся к ливням с отношением энергий $\frac{E^{(2)}}{E^{(1)}}=5$.

Статистические моменты для суммарного энерговыделения ливней будут отличаться от моментов одиночного ливня (рисунки 3). Покажем, что это различие может быть использовано для определения характеристик каждого из ливней. Случайная природа ливня влечет за собой неопределенность в определении моментов. Например, такого типа неопределенность в оценке центрального радиального момента μ_2^R близка к $\sigma = \sigma_{\mu_2^R} \approx 2\%$ для $\hat{\mu}_2^R$ в нашем случае. Это означает, что вероятность измеренного значения $\hat{\mu}_2^R$ для одиночного электромагнитного ливня быть больше, чем $\mu_2^R + 3\sigma$ близка к 0,15%. Выполнение данного условия позволяет рассматривать зарегистрированное энерговыделение, как энерговыделение перекрывающихся ливней. Назовем это условие условием 3-о разделимости одиночного электромагнитного ливня и пары (или нескольких) слившихся ливней. Рисунок 4 показывает зависимость чувствительности центрального радиального момента от отношения энергий ливней. Зависимость показывает предельное значение расстояния между ливнями при соответствующем отношении энергий для 3-о разделимости.

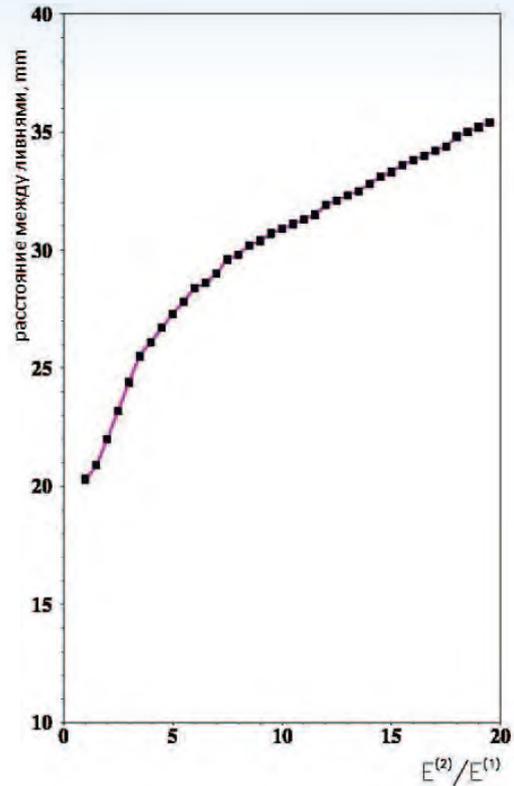


Рис. 4. Зависимость расстояния между ливнями для 3-о разделимости моментов $\hat{\mu}_2^R$ одиночного ливня и слившейся пары ливней от отношения энергий ливней.

Метод моментов [3]

В статистике моменты используются для оценки параметров выборки таких как среднее, дисперсия, медиана и т.п. Пусть вклад ливней в видимое энерговыделение аддитивен (см. (3)), тогда, если зафиксировать одну из координат, система уравнений для оценки характеристик ливней через статистические моменты (в одномерном случае, то есть как в x -, так и в y -проекциях) имеет вид

$$\begin{aligned} \hat{m}_0 &= \frac{E^{(1)}}{E^{(1)}+E^{(2)}} + \frac{E^{(2)}}{E^{(1)}+E^{(2)}} \frac{E^{(2)}}{E^{(1)}+E^{(2)}} = 1 \\ \hat{m}_1 &= \frac{E^{(1)}}{E^{(1)}+E^{(2)}} m_1^{(1)} + \frac{E^{(2)}}{E^{(1)}+E^{(2)}} m_1^{(2)} \\ \hat{m}_2 &= \frac{E^{(1)}}{E^{(1)}+E^{(2)}} m_2^{(1)} + \frac{E^{(2)}}{E^{(1)}+E^{(2)}} m_2^{(2)} \\ \hat{m}_3 &= \frac{E^{(1)}}{E^{(1)}+E^{(2)}} m_3^{(1)} + \frac{E^{(2)}}{E^{(1)}+E^{(2)}} m_3^{(2)} \end{aligned} \quad (4)$$

Предположим, что центральные моменты одиночных ливней равны $\mu_2 = \mu_2^{(1)} = \mu_2^{(2)}$ и $\mu_3 =$

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$=\mu_3^{(1)} = \mu_3^{(2)}$. Тогда система (4) может быть преобразована в систему четырех алгебраических уравнений с четырьмя неизвестными $m_1^{(1)}$, $m_1^{(2)}$, $E^{(1)}$ и $E^{(2)}$.

$$\begin{aligned} M_0 &= E^{(1)} + E^{(2)} = \hat{E} \\ M_1 &= E^{(1)} m_1^{(1)} + E^{(2)} m_1^{(2)} \\ M_2 &= E^{(1)} m_1^{(1)2} + E^{(2)} m_1^{(2)2} \\ M_3 &= E^{(1)} m_1^{(1)3} + E^{(2)} m_1^{(2)3}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $M_0 = \hat{E} \cdot \hat{m}_0$ и $M_n = \hat{E} \cdot (\hat{m}_n - \sum_{j=1}^n \binom{n}{j} \mu_j \hat{m}_{n-j})$, $n \geq 1$

Система (5) сводится к квадратному уравнению относительно соответствующих начальных моментов $m_1^{(1)}$, $m_1^{(2)}$ через промежуточную систему

$$\begin{aligned} M_1 \cdot (m_1^{(1)} + m_1^{(2)}) - M_0 \cdot m_1^{(1)} \cdot m_1^{(2)} &= M_2 \\ M_1 \cdot (m_1^{(1)} + m_1^{(2)})^2 - (M_1 + M_0 \cdot (m_1^{(1)} + m_1^{(2)})) \cdot m_1^{(1)} \cdot m_1^{(2)} &= M_3, \end{aligned} \quad (6)$$

из которой находим сумму и произведение корней квадратного уравнения

$$\begin{aligned} m_1^{(1)} + m_1^{(2)} &= \frac{M_0 M_2 - M_1 M_2}{M_0 M_2 - M_1^2} \quad \text{и} \\ m_1^{(1)} \cdot m_1^{(2)} &= \frac{M_1 M_3 - M_2^2}{M_0 M_2 - M_1^2}. \end{aligned}$$

Это позволяет определить оценки начальных моментов (то есть координаты) \hat{m}_1 и \hat{m}_2 соответствующих ливней. Энерговыделение для каждого ливня восстанавливается из простого соотношения

$$\hat{E}^{(1,2)} = \frac{M_1 - M_0 \cdot \hat{m}_1^{(2,1)}}{\hat{m}_1^{(1,2)} - \hat{m}_1^{(2,1)}}. \quad (7)$$

Данные выражения дают быстрое аналитическое решение задачи разделения двух слившихся ливней. Оценим неопределенности в восстановлении характеристик ливней.

Зафиксируем расстояние между ливнями одинаковой энергии равное 29 мм. Если нам точно известны моменты этих ливней, то система уравнений (5) имеет точное решение для расстояния между ливнями и для отношения энергий (это решение представлено на рисунке 5 с помощью прямых линий (а) – расстояние, (б) – отношение). Отметим, что решение получено для распределения по энергии для слившихся ливней, а оценки центральных моментов найдены по энерговыделению каждого из ливней. Кривые на этом рисунке являются решениями той же системы уравнений (5), если мы исполь-

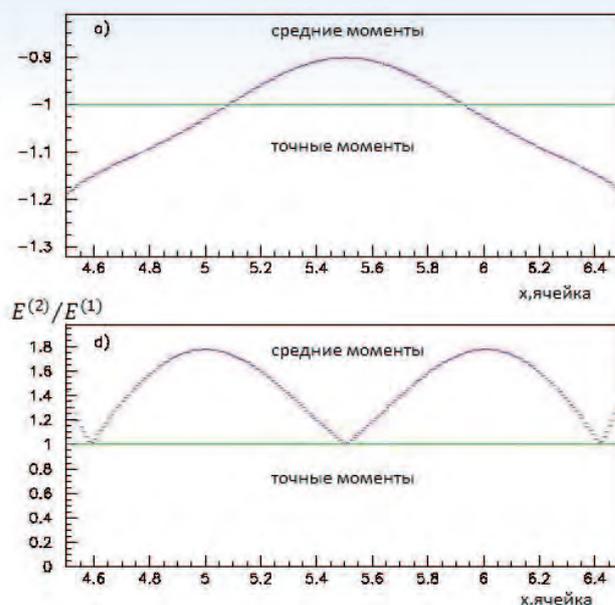


Рис. 5. Зависимость расстояния между парой реконструируемых ливней (а) и отношение реконструируемой энергии (б) по x -координате центра тяжести слившегося ливня

зуем средние значения моментов $\mu_2^{(1,2)} = 0.3$ и $\mu_3^{(1,2)} = 0$. Видно наличие систематических изменений отклонения полученных характеристик ливней как в оценке пространственных координат, так и в оценке отношения энергий на уровне от 0% до 20% в зависимости от координаты развития ливня в ячейке калориметра. Тем не менее, метод моментов позволяет дать приближенную оценку координат и энергий двух слившихся ливней простыми и быстрыми вычислениями в широком диапазоне расстояний между ливнями и их отношений энергий.

Заключение

Метод моментов дает замкнутые аналитические результаты, что существенно при обработке интенсивных информационных потоков или при статистически обеспеченном моделировании различных процессов для определения экспериментальных разрешений, эффективностей и других характеристик. Метод не требует наложения жестких условий на однородность светособираания в электромагнитных калориметрах. При обработке реальных событий необходимые поправочные зависимости могут быть найдены в калибровочных измерениях.

Метод можно использовать как при программировании триггерных условий запуска экспериментальных установок, так и для поиска начального приближения во времямких алгоритмах точного определения характеристик элект-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ромагнитных ливней [4]. Метод используется при моделировании процедуры идентификации прямых фотонов с помощью искусственных нейронных сетей [5].\

Благодарности

Мы благодарны профессору Н.Е. Тюрину и профессору В.Д. Ивченко за интерес и поддержку данной работы.

Литература

1. Kachanov V.A., Prokoshkin Yu.D., Singovsky A.V., Baryshevsky V.G., Korzhik M.V., Peigneux J.P., Poulet M., Fyodorov A.A. Properties and beam tests of PbWO₄

crystals. Preprint LAPP-EXP-93.08, 1-22, October 1993; Proc. of IEEE 93, Nuclear Science Symposium, November 1993, San Francisco, California, USA.

2. Lednev A.A. Electron shower transverse profile measurement, Nucl. Instr.&Meth. A366, 292 (1995); Preprint IHEP 93-152, Protvino, 1995.

3. Bityukov S.I., Sadovsky S.A., Semenov V.K., Smirnova V.V. Evaluation of shower parameters by the moment method in hodoscopic calorimeter, Preprint IHEP 81-45, Serpukhov, 1981.

4. Lednev A.A. Separation of the overlapping electromagnetic shower Gams-type calorimeters, Preprint IHEP 93-153, Protvino, 1995.

5. Bogolyubsky M.Yu., Kharlov Yu.V., Sadovsky S.A. Direct photon identification with artificial neural network in the photon spectrometer PHOS, Nucl.Instr.&Meth. A502, 719 (2003).

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.223.2

СВОБОДНО РАСПРОСТРАНЯЕМОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В ЗАДАЧАХ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ*

Игорь Васильевич Ажиненко

кандидат физико-математических наук

старший научный сотрудник
ФГБУ ГНЦ РФ ИФВЭ НИЦ
«Курчатовский институт»
Адрес: 142281, Московская обл.,
г. Протвино, ул. Победы, д. 1
E-mail: Igor.Azhinenko@cern.ch

Сергей Иванович Битюков

доктор физико-математических наук

ведущий научный сотрудник
ФГБУ ГНЦ РФ ИФВЭ НИЦ
«Курчатовский институт»
Адрес: 142281, Московская обл.,
г. Протвино, ул. Победы, д. 1
E-mail: Serguei.Bitoukov@cern.ch

Николай Валерьевич Красников

доктор физико-математических наук

главный научный сотрудник
ФГБУН ИЯИ РАН
Адрес: 142190 Московская обл.,
г. Троицк, ул. Физическая, вл. 27
E-mail: Nikolai.Krasnikov@cern.ch

Вера Васильевна Смирнова

кандидат физико-математических наук

старший научный сотрудник
ФГБУ ГНЦ РФ ИФВЭ НИЦ
«Курчатовский институт»
Адрес: 142281, Московская обл.,
г. Протвино, ул. Победы, д. 1
E-mail: Vera.Smirnova@ihep.ru

В работе дан обзор основных направлений развития программного обеспечения статистической обработки информационных потоков в задачах физики высоких энергий.

The paper reviews main approaches of the development of statistical software for the usage in tasks of high energy physics.

Ключевые слова: пакеты программ, анализ данных, статистические методы.

Key words: software packages, data analysis, statistical methods.

Введение

Базовым инструментарием для обработки информационных потоков в задачах ядерной физики является система программ ROOT [1]. ROOT – пакет объектно-ориентированных программ и библиотек, разработанный в ЦЕРН. Наряду со специальными средствами программирования и стандартных математических вычислений, ROOT обеспечивает пользователя средствами для построения и анализа гистограмм и графиков функций, средствами фитирования и подбора теоретических и экспериментальных зависимостей, инструментарием для проведения статистического (в том числе многофакторного) анализа данных [2].

Большинство программных наработок, по возможности, либо встраиваются в ROOT, либо являются надстройкой над ROOT, то есть базируются на ROOTовских библиотеках. Проводятся работы по совмещению и/или по созданию интерфейса между пакетом ROOT и астрофизическим языком и оболочкой для статистических расчетов и построения графиков R [3].

Обзор основных пакетов

Пакет программ RooFit является надстройкой над ROOT [4]. RooFit это инструментарий для моделирования ожидаемых распределений событий в физическом анализе. Пакет удобен для быстрого Монте-Карло розыгрыша событий и статистической обработки полученных распределений.

* Работа поддержана грантом РФФИ №10-02-00468-а.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

В пакете программ BAT (The Bayesian Analysis Toolkit) реализована Байесовская парадигма [5]. Анализ базируется на теореме Байеса и использует Монте-Карло моделирование марковских цепей, что позволяет строить апостериорное распределение вероятностей, производить оценивание параметров, строить доверительные интервалы, осуществлять перенос неопределенностей.

Много внимания уделяется статистическим пакетам многомерного анализа. Можно выделить пакет TMVA – Toolkit for MultiVariate Data Analysis [6]. Данный инструмент также встроен в среду ROOT и ориентирован на использование многомерных классификационных алгоритмов для решения широкого спектра задач ядерной физики. Для обработки информационных потоков также разрабатывается пакет StatPatternRecognition (SPR) [7]. Оба пакета имеют как перекрывающиеся, так и дополняющие друг друга возможности. Интересной новой разработкой является система поддержки принятия решений при выборе переменных в многомерном анализе и уменьшения размерности задачи PARADIGM [8].

Проект RooStats

Для анализа экспериментальных данных разрабатывается проект RooStats [5], основанный на комплексе программ ROOT [1]. Главные цели проекта:

- предоставить пользователю компьютерные программы с наиболее распространенными статистическими методами, которые применяются при анализе данных в физике высоких энергий,
- стандартизовать используемые методы для легкого сравнения результатов, полученных разными группами и разными экспериментами.

RooStats использует три наиболее распространенных подхода в статистике: частотный подход, метод максимального правдоподобия, байесовский подход.

Заметим, что программа *RooStats*, написанная на языке C++, постоянно развивается, совершенствуется и, на сегодняшний день, содержит программы, позволяющие решать следующие задачи:

1. Точная оценка для оценки наилучшего в некотором смысле (например, оценки с минимальной дисперсией или наиболее вероятные значения) значения параметра.
2. Определение доверительного интервала: областей параметров функции распределения, не противоречащих наблюдаемым данным.
3. Проверка гипотез: оценка значения ве-

роятности p для одной или нескольких гипотез (значимость).

4. Оценка качества фита – количественное определение насколько хорошо модель описывает данные

Программа *RooStats* содержит следующие классы, позволяющие решать перечисленные выше задачи:

- *ProfileLikelihoodCalculator* вычисляет значимость сигнала и определяет наилучшее значение сигнала на основе метода максимального правдоподобия. Возможность учета систематических эффектов также включена в калькулятор.

- *ProfileLikelihood* возможно использовать для оценки интервалов доверия. Возможно вычисление верхнего и нижнего пределов, а также центрального доверительного интервала.

- *BayesianCalculator* позволяет решать задачи на основе метода Байеса. Причем байесовское интегрирование может производиться численно, аналитически и методом Монте-Карло с помощью марковских цепей (*MCMCCalculator* – Monte-Carlo Markov Chain Calculator).

- *HybridCalculator* вычисляет частотную вероятность событий. В частности вычисляет p -значения (p -value). Вычисления производятся с помощью Монте-Карло розыгрыша псевдоэкспериментов. Также возможно осуществить построение Неймана (*NeymanConstruction*) для определения интервалов доверия частотным способом. Предоставляется возможность использовать несколько правил конструирования интервалов (интервал минимальной длины, центральный интервал, интервал, построенный методом Фельдмана-Кузинса).

- *HypoTestInverter* преобразует результат по проверке гипотез (*HybridCalculator*) в доверительный интервал (или в предел доверия) для параметра.

- *HistFactory* обеспечивает использование статистического инструментария пакета программ RooStats без необходимости использовать язык моделирования данных для пакета RooFit.

- *BATCalculator*. Сам пакет байесовских вычислений с помощью Монте-Карло цепей Маркова (BAT) является внешним к RooStats, но как класс в пакете программ RooStats полезен.

Проект BAT

BAT (the Bayesian Analysis Toolkit) [5] – инструмент для статистического анализа также как и RooStats возник недавно. Статистический анализ данных в пакете программ BAT основывается на теореме Байеса и реализуется с помощью метода Монте-Карло с использованием

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

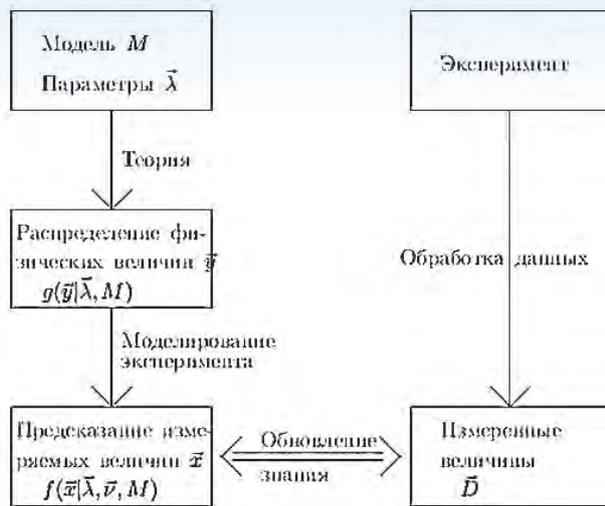


Рис. 1. Основная идея, заложенная в пакете программ BAT

ем цепей Маркова [10]. Это позволяет строить апостериорные распределения параметров и, соответственно, проводить оценку параметров, устанавливать доверительные пределы и интервалы, а также осуществлять непосредственно перенос неопределенностей на уровне апостериорных распределений.

Одна из главных целей анализа данных – сравнить модельные предсказания с экспериментальными данными и либо сделать заключение о корректности модели по отношению к данным, либо построить области доверия с той или иной точностью для параметров заданной модели.

На рисунке 1 представлена основная идея, заложенная в пакете программ BAT.

Модель M может меняться от модели, описывающую природу явлений, до простой параметризации данных, используемой в предсказании результатов или в представлении результатов исследований. Теория или модель должны быть обеспечены прямыми распределениями вероятности (вероятностей в дискретном случае).

Пакет реализован на основе языка C++, имеет интерфейс с такими пакетами, как ROOT, RooStats, Minuit. Он позволяет использовать определенные пользователем функции и алгоритмы.

Многофакторные (многовариантные) методы в ядерной физике

Многофакторный метод – это любой статистический инструмент, в котором заложен статистический анализ многомерной переменной. Основными задачами, решаемыми в таком анализе, являются задачи классификации объ-

ектов, аппроксимации функций, оценки плотности распределений, сжатия данных, отбора переменных, оптимизации, сравнения моделей и проверки гипотез.

Многофакторные методы можно делить по способу обучения: методы с машинным или с байесовским обучением [11].

Машинное обучение

Можно выделить два типа обучения. Обучение по прецедентам, или индуктивное обучение, основано на выявлении закономерностей в эмпирических данных. Дедуктивное обучение предполагает формализацию знаний экспертов и создание базы знаний. Дедуктивное обучение принято относить к области экспертных систем, поэтому термины машинное обучение и обучение по прецедентам будем считать синонимами.

Байесовское обучение

В байесовском обучении исходя из полученных данных вычисляется вероятность каждой гипотезы и на основании этого делаются предсказания. Таким образом, обучение сводится к вероятностному выводу.

Преимущество байесовского подхода в том, что все интерференционные проблемы решаются одним способом [12]. Проблема состоит в том, чтобы определить вероятные значения параметров w , и, следовательно, сделать вероятностный выбор функции $f(x, y)$, учитывая обучающие данные T .

Сравнение машинного и байесовского обучения

Хотя рассмотренные подходы различны, они не так различаются, как кажется.

Машинный подход обучения может быть рассмотрен как обеспечение Максимума АПостериорной (МАП) оценки функции $y=f(x)$, то есть при нахождении наилучшей оценки $f(x, w^*)$ функции $y=f(x)$ задача минимизации функции эмпирического риска с ограничениями эквивалентна максимизации апостериорной плотности. В то время как в Байесовском подходе процедура присваивает определенную вероятность всем возможным выборам функции $f(x, w)$.

TMVA – инструмент для многофакторного анализа (the Toolkit for Multivariate Analysis)

TMVA [6] – набор инструментов, которые позволяют реализовать большое разнообразие многофакторных алгоритмов классификации. В

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

частности, в программе задействованы следующие классификаторы:

- оптимизация линейных обрезающих;
- проекционное оценивание методом максимального правдоподобия;
- многомерное оценивание методом максимального правдоподобия;
- линейный и нелинейный дискриминантный анализ;
- искусственные нейронные сети;
- метод опорных векторов;
- усиленные (boosted) деревья принятия решений и деревья с бэггингом (bagging)¹;
- прогнозирующее обучение через ансамбли правил (via rule ensembles).

Пакет также позволяет организовать решение следующих задач:

1. нахождение зависимостей между данными (задачи регрессии);
2. классификация множества классов;
3. автоматической настройки классификаторов и их проверка с помощью взаимотестирования;
4. усиление (бустинг) и бэггинг как собственные характеристики классификатора;
5. составные классификаторы для параллельного, но независимого обучения различных областей фазового пространства;
6. комбинированное преобразование входных данных;
7. параллельная (multi threaded) минимизация и обучение классификатора.

Пакет SPR (StatPatternRecognition)

Пакет SPR [7] обеспечивает пользователя доступом к методам многофакторного анализа. Анализ для выбранного классификатора состоит из обучения и тестирования. На стадии обучения пользователь создает тренируемый классификатор и обучает его за определенное число циклов или поставкой параметров для этого классификатора из работающего модуля в SPR, или при использовании соответствующего интерфейса (SprRootAdapter) из интерактивной сессии ROOT [1]. SPR осуществляет прямую связь с обратным переносом в нейронной сети с логистической функцией активации [13].

Среда для принятия решений по выбору и уменьшению числа переменных PARADIGM

Начальный выбор переменных часто приводит к наборам переменных с очень большим количеством составляющих. Иногда большим, чем количество степеней свободы основной модели. Это обуславливает потребность в обоснованном сокращении количества переменных. Примером одного из решений данной проблемы является среда для самосогласованного принятия решений по выбору и уменьшению числа переменных PARADIGM [8]. Решение о судьбе переменной в данной системе программ основывается на некоторой мере, называемой глобальной функцией потерь.

Заключение

Рассмотрено состояние статистического программного обеспечения исследовательских работ в области ядерной физики.

Литература

1. R. Brun, F. Rademaker. Nucl. Instr. & Meth., A389 (1997), 81; см. также, <http://root.cern.ch/>
2. Moneta L., Antcheva I., Brun R., Kreshuk A. ROOT Statistical Software, Proceedings of PhyStat-LHC, CERN-2008-001, P. 179-183.
3. <http://www.r-project.org/>
4. <http://roofit.sourceforge.net>
5. <http://www.mppmu.mpg.de/bat/>; Caldwell, D. Kollar, K. Kröniger, BAT – The Bayesian analysis toolkit, Comp. Phys. Commun. 180 (2009) 2197.
6. <http://tmva.sourceforge.net/>
7. <http://sourceforge.net/projects/statpatrec>; I. Narisky, StatPatternRecognition in Analysis of HEP and Astrophysics Data, Proceedings of PhyStat-LHC, CERN-2008-001, P. 188-191.
8. S.V. Gleyzer, H. Prosper, PARADIGM, a Decision Making Framework for Variable Selection and Reduction in High Energy Physics, Proceedings of Science (ACAT08) 067, 2008.
9. <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/RooStats/>
10. Кемени Дж. Дж., Снелл Дж. Л. Конечные цепи Маркова. М.: Наука, 1970.
11. Prosper H.B. Multivariate Methods in Particle Physics Today and Tomorrow, Proceedings of Science (ACAT08) 010, 2008.
12. O'Hagan A., Kendall's Advanced Theory of Statistics, vol. 2B, Bayesian Inference, Oxford University Press, NY, 2002.
13. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.

¹ Метод определения характеристик с помощью бутстреп размножения выборок и определения средних величин.

удк 004.72

**О СТРОЕНИИ ИНФОРМАЦИОННОГО
ПРОСТРАНСТВА
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
С ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАЗНЕСЕННЫМИ
ПЕРВОИСТОЧНИКАМИ ИНФОРМАЦИИ**

Борис Петрович Смирнов

доктор технических наук

генеральный директор

Закрытое акционерное общество

«Научно-производственный центр

информационных региональных систем» (ЗАО «НПЦ ИРС»)

Адрес: 140032, Московская обл.,

Люберецкий р-н, п. Малаховка, ул. Шоссейная, д. 1а

Тел.: +7(495)330-07-88 E-mail: g-line@npcirs.ru

В статье проведен анализ понятий информация, первоисточник информации, классификатор, совместимость баз данных, информационное пространство применительно к проблеме создания автоматизированной системы с территориально разнесенными первоисточниками информации. Исходя из дуальности информации обосновано место классификаторов в информационном пространстве АС, обозначены неотвратно встречающиеся на практике явления «разрыва» информационного пространства АСУ и даны рекомендации по их устранению («сшиванию»).

In the article the deep analysis of the following concepts has been conducted: information, information space, supervisory control and data acquisition system (SCADA) from the standpoint of a system consisted from dispersed and concentrated primary sources of information. The importance of the classifiers as an element of information space of SCADA is substantiated. Frequently practice problems of “gapping” and “stitching” of information space of SCADA and the ways of their solution are determined. The results of the surveys are presented to confirm the findings.

Ключевые слова: информационное пространство, автоматизированная система управления, классификаторы и нормативно-справочная информация, совместимость баз данных.

Key words: information space, supervisory control and data acquisition system (SCADA), classifiers and referenced data, databases compatibility.

Компьютерные технологии ввели в оборот профессионализм «информационное пространство автоматизированной системы», именуемый понятие, производное от родовых понятий «информация» и «пространство». И хотя интенционал (содержание, совокупность признаков) этого понятия зависит от подходов к его применению, признаки «всеобщность» для информации и «протяженность» для географического пространства, занимаемого автоматизированной системой, присутствуют в нем всегда. Исходя из этого предлагается толкование указанного понятия применимое для решения практических задач построения и эксплуатации сложных, территориально протяженных автоматизирован-

ных систем. В любой автоматизированной системе (АС) информация всегда кем-то, где-то и когда-то впервые вводится в машину вручную и только вручную. Это обусловлено дуализмом информации, о чем будет сказано ниже. Части системы, где происходит такой ввод информации, будем полагать источниками информации, а те из них, где формируются и ведутся базы данных – первоисточниками. Первоисточник информации – это та часть (объект) автоматизированной системы, где впервые формируется, а затем и ведется база данных. При этом от того, как представляется информация в машине и как физически реализуются, размещаются и увязываются базы данных первоисточников информации, за-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

висит технология формирования и ведения информационного пространства как единства физического и соотносимого ему психического в автоматизированной системе.

Использование термина «территориально разнесенный первоисточник информации» обусловлено потребностью выделения таких свойств этих источников информации, как «самодостаточность» (независимость от других источников информации) и «связь с протяженностью» материального (физического) пространства автоматизированной системы.

Указанные свойства присущи каждому первоисточнику информации и не зависят от используемых в автоматизированной системе компьютерных технологий («единая» или распределенная база данных, «тонкий» или «толстый клиент», тип операционной системы, языки программирования, применяемая коммуникация и т.д.). При этом буквальное значение этого термина уже подразумевает наличие территориально протяженной автоматизированной системы, содержащей массовое количество объектов-первоисточников информации.

Поскольку автоматизированная система создается не одномоментно, а продолжительное, исчисляемое годами время, то в ней присутствуют и взаимодействуют как автоматизированные (компьютеризированные), так и не компьютеризированные первоисточники информации с обычной, ручной технологией работы. Это налагает ограничения на решения по структуре, составу и системам представления информации.

Такая система, с сотнями и тысячами объектов-первоисточников информации, не создается «с нуля», а опирается на уже существующие объекты, на их состав, структуру и системы представления информации. Строение такой системы определяется не столько замыслом компьютерных технологий, сколько фактом наличия объектов автоматизации. Это ав-



Рис. 1. Пример автоматизированной системы с территориально разнесенными первоисточниками информации.

томатизированная система с распределенными (разнесенными) базами данных не по замыслу, а по факту. И как бы ни организовывалась обработка данных, первоисточник информации в такой системе – подчиненный, должностное лицо, «вооруженное» базой данных, независимо от того, где эта база расположена. При этом в системах специального назначения, в интересах живучести, в первоисточниках информации должен сохраняться учет на бумажном, дублирующем электронную базу данных носителе (картотеки).

В связи с изложенным использование термина «территориально разнесенные первоисточники информации» акцентирует внимание на такой автоматизированной системе, где взаимодействуют обычные («ручные») и компьютеризированные технологии учета. Такая система может реализовать свою главную целевую функцию только через совокупную обработку данных, требующей совместимости их машинных массивов, как на уровне формы, так и на уровне содержания. Примерная схема такой системы приведена на *рисунке 1*.

Информация

Неопределяемые понятия манят и завораживают. Сознание останавливается перед ними в нерешительности. Это напрямую относится и к понятию «информационное пространство», ибо вопрос «что такое информационное пространство?», как и вопрос «что такое информация?» – из разряда «вечных» и ответа не имеет.

Ни одно из существующих определений понятия «информация» не может быть исчерпывающим. Привлекая для его определения другие понятия из разряда «вечных», как то: «значение», «форма» и прочие, мы запускаем лавинообразный процесс определения уже этих понятий через привлекаемые другие и тоном в неоднозначности языка и его движения.

Поэтому любая научная дисциплина, использующая в своей зоне интересов понятие «информация», отвечает на вопрос «что понимается под информацией?», а не «что такое информация?». Сказанное справедливо и для понятия «информационное пространство».

Иногда, особенно в прикладной науке, полезнее обратиться к коллективному мнению, чем к мнению авторитетов. Так, интернет-энциклопедия Студопедия (<http://studopedia.ru>), признавая, что информация имеет как идеальную, так и материальную природу, условно делит ее на «первичную» и «вторичную», хотя и не бесспорно, что первично, а что вторично.

Под «первичной информацией» понимается

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

свойство объектов материального мира при взаимодействии их с другими объектами порождать в последних множество состояний, отображающих таковые воздействующих объектов.

Проявляется это свойство, толкуемое обычно как «информация», в наличии множества состояний материального объекта. В ряде научных дисциплин, таких как теория информации, информатика, кибернетика, связь это множество состояний вещества, множество состояний материального объекта и принимается за информацию. Стоит вспомнить определение Н. Винера, полагавшего, что «информация – это обозначение содержания» [1].

Таким образом, состояние материального объекта (в нашем случае компьютера) есть просто своего рода форма, способ проявления (представления) свойства материи, называемого информацией, которая с позиции биологического или социального подхода не материальна, а множество состояний материального объекта есть лишь множество материальных ее проявлений.

В дальнейшем будем использовать следующие понятия и их определения. «Отражение» – психический процесс без внешнего его проявления, «отображение» – выражение отражения, т.е. психического через физическое. Все что человеком воспринято – отражено, все, что из этого выражено (вербально или не вербально) – отображено. Все, что в машине – представлено, а все, что из этого вербализируется или визуализируется, – выражено.

Вот это отображение, опосредуемое любой знаковой системой, обозначая конкретное отражение и обладая при этом предметностью, проявляемостью, отделяется от него и существует само по себе. Это и есть «превращенная форма» (термин введен еще К.Марксом), которая сама становится содержанием, существует уже по своим законам, законам «превращенной формы», порождая свои понятия, свою терминосистему, как это наглядно и проявляется в компьютерных технологиях. «Каждая наша мысль, выраженная в языке, имеет не только какое-то содержание, но и определенную форму. И эта форма легко отделяется от содержания ...» [5].

В связи с этим мы разделяем понятия «информационная технология» и «компьютерная технология». В «компьютерных технологиях», в отличие от более широко понимаемых «информационных технологий», информация понимается как первичная, материализуемая в веществе машины, множестве состояний ее вещества, в то время как в «информационных технологиях» она понимается в единстве первичной и вто-

ричной (смысловой) информации. Из этого следует, что данные – это первичная информация, представляющая в машине вторичную информацию.

Под «вторичной (семантической, смысловой) информацией» понимается субъективная составляющая информации, психическое содержание объективной (первичной) информации, психическое образование, отраженное, оформленное и выраженное сознанием человека в языке, естественном или искусственном. При этом «источником, приписывающим смысл вещам, является сознание, актуальный упорядоченный опыт» [2].

Налицо дуализм понятия «информация», проявление ее в живом и неживом материальном мире, как во множестве состояний материальных объектов, так и в идеальной субстанции (мышлении человека) в виде мысли (понятия, референции).

Это глухой стеной разделяет человека и машину (компьютер). У машины нет психики, человек и машина никогда «не поймут» друг друга, однако их взаимодействие на уровне первичной информации неотвратимо.

Поскольку информация по природе своей дуальна и делится на первичную и вторичную, полагаем, что первичная информация материализуется в машине и образует пространство данных, которое и составляет материальную платформу информационного пространства автоматизированной системы.

При этом первоисточники информации в системе это те трансграничные места, где первичная информация становится данными, поскольку, как уже отмечалось, всегда кто-то, где-то и когда-то впервые «вручную» вводит информацию в машину, подразделяя ее тем самым на вторичную и первичную.

Автоматизированная система управления (АСУ)

АСУ (разновидность автоматизированных систем) – это среда, где психическое и физическое в информации объединяются, разъединяются и вновь соединяются.

Принципиальное отличие автоматизированной системы от ее неавтоматизированной первоосновы (неавтоматизированной системы) в наличии баз (банков) данных. Автоматизированная система суть следствие не всегда разумного «вживления» компьютера (машины) в действующую, обычную, не компьютеризированную систему управления.

Феномен базы данных радикально изменил место и значимость массива информации в системе, а появление массовых баз данных поро-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

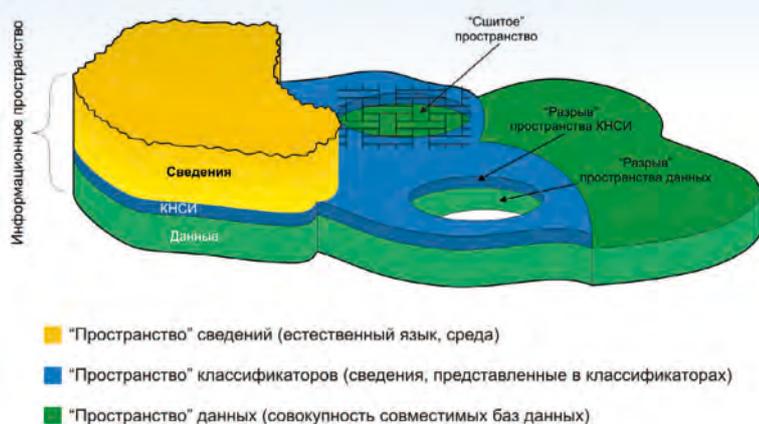


Рис. 2. Слои информационного пространства автоматизированной системы

дидо проблему их совместимости, проблему совокупной обработки совмещаемой (объединяемой) информации.

Такая автоматизированная система не должна создаваться «с нуля». Проверенный на практике пятый признак сложной системы гласит: «сложная система неизбежно оказывается результатом развития работающей простой системы... Сложная система, разработанная от начала до конца на бумаге, никогда не работает и нельзя заставить ее заработать. Вы должны начать с работающей простой системы» [8].

Информационное пространство АСУ

Если дуальна информация, то дуально и информационное пространство, т.е. оно тоже имеет как материальную (физическую), так и психическую составляющую.

Под информационным пространством автоматизированной системы будем понимать нанесенную в ее материальном (физическом) пространстве совокупность данных, воспринимаемых человеком, выделяя ее сложно организованную часть – совокупность совмещаемых баз данных. Информация баз данных это первичная информация информационного пространства.

Совместимость баз данных суть их свойство, при котором массивы двух или более баз данных могут быть объединены и обработаны как единое (целое).

Несовместимость баз данных АС стала грозным явлением. Так, в статье «Возможности и пути взаимодействия библиотек Санкт-Петербурга при подготовке и обмене информацией» образно и эмоционально сообщается, что «...совместимости используемых библиотеками программ нет, согласованности в выборе и заполнении полей даже одного и того же формата нет, единых методик и требований к лингви-

стическому обеспечению баз данных нет» [7].

Можно утверждать, что это и сейчас общая оценка ситуации.

Проявление психического через физическое с последующим представлением его в машине, а также последующее порождение в сознании человека психического через восприятие этого физического (представления) происходит через семантические массивы, называемые классификаторами, каталогами, справочниками, рубрикаторами и пр. Через них психическое, сохраняемое как совокупность знаний групп лиц, ориентирующихся в кон-

кретной предметной области, увязывается с физическим, представляемым в машине в виде свода кодов и обозначений (наименований), соотносимым психическому. При этом в машине превращенная форма преобразуется по законам логики, а соединение в сознании преобразованной формы с ее содержанием, еще и по законам психики.

При создании указанных массивов следует учитывать, что в ходе процесса соотнесения психического и физического у адресата происходит потеря части исходной вторичной информации адресанта. К примеру, в устной речи «человек высказывает 80% из того, что хочет сообщить, а слушающие его воспринимают лишь 70% из этого, понимают – 60%» [4].

Графически информационное пространство АСУ можно выразить как трехслойный конструкт, где верхний слой – сведения, нижний – данные, средний – классификаторы (рисунком 2).

Каждый слой – это своего рода подпространство информационного пространства автоматизированной системы, а слой классификаторов – своего рода «стык» между сведениями и данными, через который психическое представляется как физическое и порождается вновь как подобное себе. Этот стык («прослойка» между психическим и физическим) и определяет совместимость баз данных, для которой нужна не только тождественность формы, но и одинаковость (подобие) ее содержания (смыслов).

Классификаторы

«Стык» между первичной и вторичной информацией – это трансграничный переход между сознанием и материализованным представлением его работы в машине, между машиной и человеком, между информатикой и лингвистикой – место протекания процесса описания дан-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ных, процесса, обеспечивающего схождение информатики и лингвистики. Переход этот обеспечивается через кодированные семантические массивы, на практике обычно называемые классификаторами.

Классифицируются не реальные предметы, а их абстракции. Поэтому столь важно, чтобы термин соотносился с конкретным, одним и тем же по смыслу (желательно и форме) определением понятия, которое порождало бы у разных людей один и тот же (похожий, подобный) образ предмета экстенционала – класса таковых понятий. В нарушении этого правила и заключена причина семантической несовместимости классификаторов и, как следствие, семантической несовместимости баз данных – несовместимости их по вторичной информации.

Классификатор – это семантический массив, созданный по правилам классификации для информационных технологий, но выраженный и представленный в машине для «компьютерных технологий».

Проблема классификаторов стала камнем преткновения при интеграции систем, да и в рамках отдельной системы она не проста.

Следует иметь виду, что классификаторов «россыпью» недостаточно, поскольку они вступают в логические и семантические отношения, образуя связные графы – группы. Наличие таких групп и определяет возможность решения конкретной задачи. Фактически, такая группа (граф, связка) классификаторов – это «описание определенной», используемая для идентификации предмета в базе данных не по имени, а по индивидуальной совокупности признаков.

Говоря о совместимости баз данных, мы подразумеваем одинаковость, как в плане содержания, так и в плане выражения массивов классификаторов и нормативно-справочной информации этих баз данных, поскольку только в этом случае данные совмещаемых баз данных соответствуют принятым значениям (смыслу) применяемых слов и форме их представления. Поэтому не следует игнорировать необходимость согласования смыслов записей (экземпляров) классификаторов.

Поскольку в автоматизированной системе самим делать все классификаторы практически невозможно, часть из них приходится заимствовать. Это требует гармонизации классификаторов, что не менее сложная задача, чем их создание.

Существует широко распространенное заблуждение, что формальными методами можно гармонизировать (приспособить) классификаторы сопрягаемых автоматизированных систем программным путем, создавая переходные таблицы (матрицы) исключая тем самым влия-

ние семантической составляющей классификатора. К сожалению, сделать это в общем случае нельзя, поскольку в классификаторах не формализованы свойства (признаки), по которым распознаются и группируются предметы при классификации. Указанные признаки в классификаторах выражены лишь частично и задействуются человеком в процессе классификации либо по умолчанию, либо интуитивно. Машине сопоставление семантики поля наименований экземпляров (записей) массивов классификаторов недоступно, а построение переходной таблицы, исходя из семантики наименований (обозначений) предметов, суть творческий процесс, более сложный, чем создание нового классификатора.

По указанной причине для интеграции автоматизированных систем или должна быть введена единая система классификации и кодирования, что практически недоступно для уже существующих систем, либо единая система каталогизации с описательным принципом идентификации, что также проблематично, либо от интеграции массивов баз данных сопрягаемых систем придется отказаться. При этом отказаться от самих классификаторов нельзя – нет альтернативы.

«Разрыв» и «сшивание» информационного пространства АСУ

Жизнь автоматизированной системы – это изменение ее информационного пространства. Информационное пространство АСУ постоянно меняется («дышит»), поскольку меняется среда автоматизации. Изменения в автоматизируемой среде приводят к изменению классификаторов и нормативно-справочной информации АС.

Данные в базах данных меняются постоянно. Меняются и классификаторы, нормативно-справочная информация, формы документов. К примеру, в упомянутой выше системе с массовым количеством объектов-первоисточников информации (несколько тысяч), совокупное количество изменений в классификаторах более 200 тысяч в год. Можно полагать, что для взаимодействующих систем этих изменений значительно больше, а потому и проблема обеспечения совместимости массивов данных сложнее и острее. Сказанное можно прокомментировать на примере общероссийского классификатора профессий, должностей и тарифных разрядов рабочих и служащих (ОКПДТР) (рисунки 3).

Если в первоисточниках информации классификаторы в заданном интервале не обновлять, а базы данных по этим обновлениям не актуализировать, то при сборе информации получаемый из них результат будет недостоверным.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

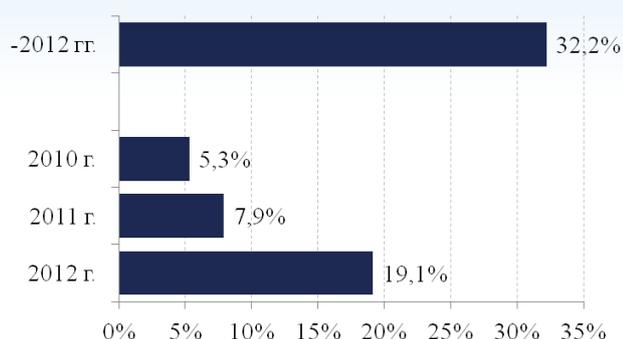


Рис. 3. Удельный вес записей, изменившихся в ОКПДТР в 2010-2012 гг., %

Даже если процесс обновления классификаторов и нормативно-справочной информации и задействован, следует иметь в виду существенную особенность территориально разнесенных систем – наличие «интервала недоверности» [5], в пределах которого изменения, начатые на одном конце системы, еще не «дошли» до другого ее конца.

Универсального средства устранения этого явления нет, поэтому интервалом недоверности надо управлять, имея в автоматизированной системе центр управления информационным пространством.

Информационное пространство АСУ формируется на «полотне КНСИ», у которого не должно быть «прорех». При этом множества значений одних и тех же атрибутов-признаков объектов концептуальных моделей баз данных разных уровней иерархии АСУ или должны быть одновременно (в заданном интервале времени) изменены (дополнены, сокращены, видоизменены), или множества их значений становятся неодинаковыми, данные актуализируются частично и сведения становятся частично достоверными (недостоверными).

Состояние АСУ или части ее, при котором массивы данных хотя бы двух баз (банков) данных становятся частично пригодными для совокупной обработки, будем считать «разрывом информационного пространства АСУ» [6]. А если есть «разрыв» пространства, то должно быть и его «сшивание».

Под «сшиванием» информационного пространства АС понимается процесс восстановления возможности совокупной обработки данных, частично или полностью утерянной при «разрыве» пространства КНСИ. Это достигается путем приведения используемых в первоисточниках классификаторов к эталону с последующей актуализацией баз данных.

Таким образом, можно полагать, что функционирование автоматизированной системы суть

процесс постоянного «разрыва» и «сшивания» ее информационного пространства, поддержание которого в «сшитом» состоянии требует наличия специальной технологии.

При этом «было бы абсурдно утверждать, что теория информации, или что-нибудь подобное, поможет нам решить проблемы лингвистики, смысла, понимания, философии, жизни» [3].

Заключение

1. Информационное пространство автоматизированной системы управления (АСУ) дуально: с одной стороны это психическое образование (вторичная информация), а с другой стороны – материальное его проявление через представление в машине (первичная информация).

2. В автоматизированной системе с территориально разнесенными первоисточниками информации материальное проявление ее информационного пространства – это среда совместимых баз данных (первичной информации).

3. Граница между первичной и вторичной информацией, между естественным языком и его представлением в машине, проходит через классификаторы. При формировании и ведении информационного пространства АС следует исходить из необходимости обеспечения совместимости (одинаковости) экземпляров (записей) классификаторов на уровне как первичной, так и вторичной информации во всех базах данных.

4. Структурно информационное пространство АС может быть представлено как трехслойный конструкт совместимых баз данных: слой сведений, слой классификаторов и слой данных.

5. Информационное пространство АСУ постоянно рвется и требует сшивания по специальной технологии. Жизнь автоматизированной системы – это процесс постоянного разрыва и сшивания ее информационного пространства.

Литература

1. Винер Н. Творец и будущее. Пер. с англ. М.: АСТ, 2003. 732 с.
2. Гуссерль Э. Картезианские размышления. СПб.: Ювен-та, 1998. 259 с.
3. Пирс Дж. Символы, сигналы, шумы. Закономерности и процессы передачи информации. М.: Мир, 1967. 337 с.
4. Ронин Р. Своя разведка. Минск: Харвест, 1997. 123 с.
5. Склярченко Е. Мераб Мамардашвили за 90 минут. М.: АСТ, СПб.: Сова, 2006. 94 с.
6. Смирнов Б.П. Создание и ведение информационного пространства автоматизированной системы // Проблемы информатизации. Выпуск 4, 2000. С. 17-27.
7. Устинова О.Ю. Возможности и пути взаимодействия библиотек Санкт-Петербурга при подготовке и обмене информацией. [Электронный ресурс]: <http://gbs.spb.ru> (дата обращения 10.09.2014)
8. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ. М.: Конкорд 1992.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 338.268

УПРАВЛЕНИЕ ИНДИКАТИВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ЦЕЛЕВЫХ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМОВ БУТСТРЕП-АНАЛИЗА

Юрий Николаевич Артамонов

кандидат технических наук

ведущий научный сотрудник
ФГБНУ «Госметодцентр»

Адрес: 117998, Москва, ул. Люсиновская, д. 51

Тел.: +7(499)706-81-25

В статье рассмотрены механизмы управления индикативными параметрами целевых программ, реализуемых в виде целенаправленного государственного финансирования совокупности научно-технических проектов. Предложен метод управления целевыми индикаторами из класса долевых показателей, который успешно может использоваться для квотирования проектов по тематическому, региональному признаку.

The article describes mechanisms of indicative parameters management of target programs, realized in the form of targeted public funding of sets of scientific and technical projects. Method of management of the target indicators from the class of quotients indices, which can be successfully used for quoting of projects on thematic, regional characteristics is proposed.

Ключевые слова: целевые программы, управление целевыми программами, оценка групп научно-технических проектов.

Key words: целевые программы, управление целевыми программами, оценка групп научно-технических проектов.

Индикативное планирование в настоящее время является основным механизмом декомпозиции задач целевых программ и представления их некоторым вектором плановых параметров – целевых индикаторов. Однако часто остается открытым вопрос, как по результатам реализации целевой программы выработать эффективные стратегии управления достигаемыми значениями целевых индикаторов. Подчас приходится ограничиваться лишь пассивным наблюдением за поведением тренда этих показателей во времени. При этом механизмы корректирующих воздействий на ход реализации целевых программ чаще всего состоят из следующих действий:

- цензурирование выборки научно-технических проектов, реализуемых в рамках программы;

- добавление новых проектов;

- смешение 1 и 2 подходов.

Цензурирование выборки проектов связано с уменьшением количества проектов или квот на количество проектов определенного направления, что приводит к вопросам оценки результа-

тивности выполняемых проектов с выделением множества нерезультативных проектов [1, 5].

При увеличении количества проектов часто остается неясным, сможет ли добавление новых проектов как-то повлиять на изменение значения целевого индикатора, а также какое количество проектов необходимо добавить для максимизации вероятности достижения плановых значений целевых индикаторов или просто роста целевого индикатора. Основная сложность для ответа на подобные вопросы состоит в отсутствии надежных статистических данных. Это связано с тем, что относительно короткий срок реализации целевых программ (3-10 лет) не позволяет получить выборку нужного объема для заданного целевого индикатора. Кроме того, в такой выборке наблюдается естественная неравнозначность – значения, соответствующие начальным этапам реализации Программы вряд ли оказывают такое же влияние, как остальные. Если же брать годовую выборку, то проблема будет состоять в наличии одного единственного значения целевого индикатора, соотнесенного с группой проектов.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Достаточно естественным выходом из указанного затруднения может стать использование метода размножения выборки (бутстреп-анализа) [2].

Пусть в исходной выборке имеется n проектов. Будем предполагать репрезентативность имеющейся выборки проектов. Исходя из данного предположения, можно далее предположить, что новые проекты, которые добавятся, будут по показателям, входящим в целевой индикатор, близки к уже существующим проектам в выборке, а в пределе полностью совпадать с ними. Таким образом, можно исследовать поведение целевого индикатора для ситуации добавления новых проектов при случайном увеличении количества уже существующих проектов. Будем исходить из предельного случая, когда любой вновь добавляемый проект берется из множества уже существующих n проектов.

Пусть планируется добавить k новых проектов, обозначим l_{ji} – количество добавляемых проектов i -го типа в j -й выборке, полученной случайным выбором k проектов из n . Таким образом, справедливо равенство:

$$\forall j: \sum l_{ji} = k. \quad (1)$$

Заметим далее, что количество различных получаемых значений с учетом требования (1) ограничено порождаемой последовательностью производящей функции

$$\frac{x^{n-1}}{(1-x)^n}$$

и равно значению биномиального коэффициента $\binom{n+k-1}{k}$.

При неограниченном росте количества реализаций и с учетом того, что проекты выбираются из уже существующих наудачу с равными вероятностями $p = 1/n$, каждое из

$$\binom{n+k-1}{k}$$

различных значений встретится одинаковое количество раз. Обозначим это количество через l , т.е. будем иметь выборку

$$Z = \left\{ \underbrace{z_1^k, \dots, z_1^k}_{l \text{ раз}}, \underbrace{z_2^k, \dots, z_2^k}_{l \text{ раз}}, \dots, \underbrace{z_m^k, \dots, z_m^k}_{l \text{ раз}} \right\},$$

где $m = \binom{n+k-1}{k}$ и $l \rightarrow \infty$.

Заметим, что выборки $Z = \{z_1^k, z_2^k, \dots, z_m^k\}$ и

$$Z = \left\{ \underbrace{z_1^k, \dots, z_1^k}_{l \text{ раз}}, \underbrace{z_2^k, \dots, z_2^k}_{l \text{ раз}}, \dots, \underbrace{z_m^k, \dots, z_m^k}_{l \text{ раз}} \right\}$$

будут иметь одинаковую медиану, среднее арифметическое. Таким образом, в ряде случаев при небольшом количестве проектов вместо размножения выборки случайной процедурой, можно ограничиться получением оценок на выборке $Z = \{z_1^k, z_2^k, \dots, z_m^k\}$.

Заметим, что большинство целевых индикаторов – это некоторые агрегированные показатели от выполняемых проектов, причем достаточно часто для агрегирования используют частное от суммы значений одного показателя по проектам к сумме значений другого показателя по проектам (долю). Рассмотрим представленный подход для такого типа целевых индикаторов.

Пусть в исходной выборке из n проектов, числитель дроби целевого индикатора представлен множеством значений $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, знаменатель представлен множеством значений $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$. В этом случае достигнутое значение целевого индикатора на выборке будет $z = \sum a_i / \sum b_i$. Пусть планируется добавить k новых проектов, тогда получаем следующее значение целевого индикатора:

$$z_j^k = \frac{(l_{j1} + 1) \cdot a_1 + (l_{j2} + 1) \cdot a_2 + \dots + (l_{jn} + 1) \cdot a_n}{(l_{j1} + 1) \cdot b_1 + (l_{j2} + 1) \cdot b_2 + \dots + (l_{jn} + 1) \cdot b_n},$$

где l_{ji} – количество добавляемых проектов i – типа в j -й реализации, причем .

Будем предполагать, что существует некоторая случайная величина x , выборка значений которой представлена множеством:

$$\left\{ (l_{j1} + 1) \cdot a_1 + (l_{j2} + 1) \cdot a_2 + \dots + (l_{jn} + 1) \cdot a_n \mid j = 1..m \right\}, \quad (2)$$

а также случайная величина y , выборка значений которой представлена множеством:

$$\left\{ (l_{j1} + 1) \cdot b_1 + (l_{j2} + 1) \cdot b_2 + \dots + (l_{jn} + 1) \cdot b_n \mid j = 1..m \right\}. \quad (3)$$

Общая процедура использования бутстреп анализа будет состоять в следующем.

Используя подход размножения выборки, выполним m раз случайный выбор k проектов из n , обозначим $Z = \{z_1^k, z_2^k, \dots, z_m^k\}$ – множество полученных выборок.

Обозначим через $f(x,y)$ совместную плотность вероятности величин x,y . Тогда, как известно,

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

величина $z = \frac{x}{y}$ имеет следующую функцию распределения:

$$D(z) = \int_0^{\infty} \int_0^y f(x,y) \cdot dx \cdot dy + \int_{-\infty}^0 \int_0^0 f(x,y) \cdot dx \cdot dy \quad (4)$$

Практика формирования выборки для различных долевого целевых индикаторов $Z = \{z_1^k, z_2^k, \dots, z_m^k\}$ отдельно для числителей и знаменателей каждой составляющей z_i^k свидетельствует, что в ряде случаев их можно рассматривать как нормальные случайные величины — каждая такая составляющая представляет собой сумму числителей, знаменателей по большому количеству проектов (проверку можно осуществить, например, по критерию Шапиро-Уилка, задавшись соответствующим уровнем доверия). Однако в большинстве случаев такие случайные величины не будут независимы. Например, непосредственные расчеты для ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» показывают, что числитель и знаменатель долевого целевого индикатора «Доля исследователей в возрасте 30-39 лет в общей численности исследователей» достаточно коррелированы. Таким образом, возникает ситуация, что случайная величина, представленная выборкой $Z = \{z_1^k, z_2^k, \dots, z_m^k\}$ является отношением двух коррелированных случайных величин x, y , распределенных по нормальному закону с ненулевым математическим ожиданием. Обозначим через

$$f(x, y) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sqrt{1 - \rho^2}} \cdot e^{-\frac{z}{2 \cdot (1 - \rho^2)}}$$

двухмерное нормальное распределение случайных величин x, y , где $\rho = \text{cor}(x, y)$ – корреляция между

$$x, y; z = \frac{(x - \mu_x)^2}{\sigma_x^2} - \frac{2 \cdot \rho \cdot (x - \mu_x) \cdot (y - \mu_y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} + \frac{(y - \mu_y)^2}{\sigma_y^2}$$

μ_x, μ_y – математические ожидания величин x, y соответственно; σ_x, σ_y – стандартные отклонения величин x, y соответственно.

В [3] показано, что при выполнении условия $\frac{\mu_y}{\sigma_y} \rightarrow \infty$, а это соответствует $y > 0$ (последнее

собственно всегда выполняется на практике для целевых индикаторов), справедлива следующая аппроксимация функции распределения:

$$D(u) \rightarrow \Phi \left(\frac{\mu_y \cdot u - \mu_x}{\sqrt{u^2 \cdot \sigma_y^2 - 2 \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot u + \sigma_x^2}} \right), \quad (5)$$

$$\text{где } \Phi(w) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^w e^{-\frac{u^2}{2}} \cdot du;$$

также для плотности вероятности:

$$P(u) \rightarrow \frac{b(u) \cdot d(u)}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot a^3(u)}, \quad (6)$$

где

$$a(u) = \sqrt{\frac{u^2}{\sigma_x^2} - \frac{2 \cdot \rho \cdot u}{\sigma_x \cdot \sigma_y} + \frac{1}{\sigma_y^2}};$$

$$b(u) = \frac{\mu_x \cdot u}{\sigma_x^2} - \frac{\rho \cdot (\mu_x + \mu_y \cdot u)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} + \frac{\mu_y}{\sigma_y^2};$$

$$c = \frac{\mu_x^2}{\sigma_x^2} - \frac{2 \cdot \mu_x \cdot \mu_y}{\sigma_x \cdot \sigma_y} + \frac{\mu_y^2}{\sigma_y^2};$$

$$d(u) = \exp \left\{ \frac{b^2(u) - c \cdot a^2(u)}{2 \cdot (1 - \rho^2) \cdot a^2(u)} \right\}.$$

Введенные соотношения (5), (6) позволяют оценить вероятность повышения значения целевого индикатора относительно достигнутого значения ZI_δ или вероятность превысить плановое значение $ZI_{план}$ соответственно:

$$\int_{ZI_\delta}^{\infty} P(u) \cdot du; \quad \int_{ZI_{план}}^{\infty} P(u) \cdot du, \quad (7)$$

для чего оценка первичных параметров $\mu_x, \mu_y, \sigma_x, \sigma_y$ проводится на множествах (2), (3) для заданного k .

Далее отметим, что если условие на нормальность числителей и знаменателей x, y не выполняется, то можно от предложенных аппроксимаций перейти к оценкам параметров дискретного распределения на множестве $z = \{z_1^k, z_2^k, \dots, z_m^k\}$. Для этого проведем на множестве $z = \{z_1^k, z_2^k, \dots, z_m^k\}$ группировку с использованием формулы Стерджесса:

$$s = 1 + 3.322 \cdot \ln(m),$$

где s – количество групп.

Пусть $p_i = \frac{h_i}{m}$ – вероятность попадания в i -й интервал, h – количество элементов из множества $Z = \{z_1^k, z_2^k, \dots, z_m^k\}$, попавших в i -й интервал. Тогда

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

да вероятность превысить достигнутое или плановое значение можно соответственно определить:

$$\sum_{i>g_{дост}} p_i, \quad \sum_{i>g_{план}} p_i,$$

где $g_{дост}$ – номер интервала, начиная с которого значения внутри интервала превышают достигнутое значение ZI_0 ;

$g_{план}$ – номер интервала, начиная с которого значения внутри интервала превышают плановое значение $ZI_{план}$.

Продемонстрируем использование данного подхода на примере. В качестве примера возьмем данные Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» по целевому индикатору «Доля исследователей в возрасте 30-39 лет в общей численности исследователей» в рамках ряда проектов мероприятия «Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук» в соответствии с паспортом Программы [4]. В 2009 году в данном мероприятии приняло участие 182 организации, в следующем 2010 году количество организаций участников увеличилось до 251 организации. При этом 29 организаций 2009 года не приняли участия в 2010 году. Таким образом, количество новых организаций принявших участие в 2010 году составило 98 организаций. Анализ составляющих указанного целевого индикатора на выборке организаций 2009 года с использованием критерия Шапиро-Уил-

ка не подтверждает нормальное распределение ни для числителя, ни для знаменателя. Поэтому при определении требуемых вероятностей повышения значения целевого индикатора относительно достигнутого значения была использована оценка дискретного распределения на множестве Z . Само множество Z формировалось на выборке организаций 2009 года с случайным добавлением 98 организаций. Количество элементов множества Z составило $m=5000$. После группировки по формуле Стерджесса, было выделено 30 интервалов. На *рисунке 1* показаны численные значения данных интервалов, а также соответствующие им вероятности попадания в интервал. Например, как видно из *рисунка 1*, вероятность нахождения в интервале $[0.2094; 0.2107]$ составила 0.0918.

В 2009 году численное значение целевого индикатора составило 0.212. Из *рисунка 1* можно определить, что вероятность превысить это значение при добавлении 98 новых организаций может составить 0.4546. Таким образом, вероятность превысить достигнутое в 2009 году значение оказывается меньше, чем вероятность получения более низкого значения целевого индикатора. Этот вывод согласуется с фактическим значением данного целевого индикатора за 2010 год, которое составило 0.195.

Заметим, что объем испытаний при использовании предложенного метода нужно устанавливать, соотносясь с объемом теоретической выборки, определяемым числом

$$\binom{n+k-1}{k}.$$

Оценка вероятности нахождения значения целевого индикатора в заданном интервале

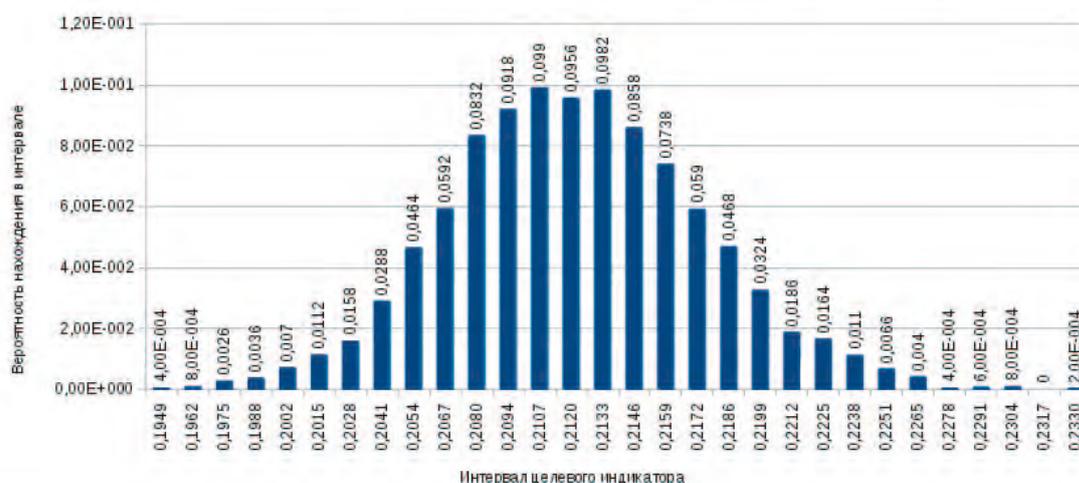


Рис. 1. Результаты численных расчетов вероятности нахождения значения целевого индикатора в заданном интервале

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ



Рис. 2. Зависимость ошибки метода от соотношения между объемом статистических испытаний и теоретическим размером выборки

В частности на *рисунке 2* показаны результаты экспериментальных расчетов изменения среднего квадратического отклонения теоретических и расчетных (с использованием предложенного метода размножения выборки) вероятностей для гипотетического множества из 10 проектов. При этом в эксперименте к исходному множеству из 10 проектов сначала добавлялся один проект, затем два, и т.д. до 10 проектов.

Из *рисунка 2* следует, что с ростом количества добавляемых проектов наблюдается рост ошибки метода. Для ее снижения можно следить за соотношением между выбранным объемом статистических испытаний и теоретическим объемом выборки

$$\binom{n+k-1}{k}.$$

Однако, биномиальный коэффициент очень быстро возрастает (например, для рассматриваемой гипотетической выборки

$$n=10, k=10, \binom{n+k-1}{k} = 92378).$$

Поэтому более целесообразно проводить укрупнение интервалов. Например, для рассмотренного случая теоретическое количество интервалов по формуле Стерджесса:

$$1 + 3.322 \cdot \ln \left(\binom{n+k-1}{k} \right) = 592, n = 182, k = 98,$$

в тоже время при расчете использовалось только 30 интервалов.

В целом предложенный метод может быть легко расширен на одновременную оценку достижения группы целевых индикаторов по проектам. Для этого выбираемые случайные проекты должны одновременно использоваться при расчете вероятностей нахождения выбранных целевых индикаторов по интервалам. Тем самым появляется возможность комплексной оценки степени воздействия на группу целевых индикаторов при добавлении проектов.

Литература

1. Артамонов Ю.Н. Метод оценки результативности научно-технических проектов целевых программ // Известия Института инженерной физики, 2012. №1(23). С. 78-81.
2. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R. Тольятти: «Кассандра», 2013. 289 с.
3. D. V. Hinkley On the Ratio of Two Correlated Normal Random Variables *Biometrika*, Vol. 56, No. 3 (Dec., 1969), pp. 635-639.
4. Паспорт Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».
5. Емелин Н.М., Артамонов Ю.Н. Методический подход к формированию стратегий управления деятельностью неэффективных образовательных учреждений высшего профессионального образования // Известия Института инженерной физики, 2014. №1(31). С. 98-101.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 629.76.004

РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЙ ПОДХОД К СОХРАНЕНИЮ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СОВОКУПНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К УРОВНЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Владимир Петрович Карулин

*заслуженный работник высшей школы РФ,
доктор технических наук, профессор*

ведущий научный сотрудник

ФГБНУ «Госметодцентр»

Адрес: 115998, Москва, ул. Люсиновская, д. 51

Тел.: +7(499)706-81-25

В статье рассматривается подход к обеспечению работоспособности совокупности технических устройств на различных временных интервалах при ограниченных ресурсах путем изменения уровня технического состояния. Проведен анализ характера изменения основных параметров, чувствительных к режиму расходования ресурсов и исходному состоянию отдельных технических устройств.

The article considers approach to ensuring working capacity of totality of technical devices at different time intervals with limited resources through changes in the level of technical condition. The analysis of the behavior of changes in the main parameters, that are sensitive to the mode of resources spending and initial state of individual technical device is carried out.

Ключевые слова: квалиметрия, методы оценки, профессорско-преподавательский состав, компетенции, квалификация, компетентностная модель преподавателя, экспертные методы.

Key words: qualimetry, assessment methods, faculty, competences, qualification, competence-based model of the teacher, expert methods.

Современные условия экономического развития страны характеризуются наличием двух тенденций, присущих состоянию основных производственных фондов: старение существующего базисного производственного потенциала и формирование перспективной производственной структуры. Доминирование одной из этих тенденций определяет темпы развития, а замедление темпов создания новых производств в отдельных секторах экономики в определенных политико-экономических ситуациях и при изменении технико-технических факторов может оказать значительное влияние на выпуск конечной продукции.

В определенных условиях уровень «пиковой» потребности в производимой продукции может превысить на некотором временном интервале возможности производства по обеспечению стабильного среднего уровня выпуска продукции,

создаваемой совокупностью технических объектов или технических устройств (ТУ). При этом возможная продолжительность обеспечения повышенного уровня производственных потребностей полностью определяется состоянием основных производственных фондов, а именно: количеством технических устройств, имеющих необходимый уровень технического состояния.

Естественно, что при ограниченных ресурсных возможностях с повышением требований к уровню технического состояния количество технических устройств, отвечающих этому уровню, имеет тенденцию к сокращению.

Фактически, возникает проблемная ситуация, которая состоит в необходимости решения задачи обеспечения заданных требований по поддержанию количественного состава и технического состояния ТУ в условиях замедления темпов их модернизации.

При этом в связи с ограниченным финансированием процесса модернизации и замедлением темпов замены таких устройств на более совершенные возникает необходимость продления сроков эксплуатации таким образом, чтобы исключить значительное сокращение общего количества ТУ, связанное с достижением ими предельных состояний.

Рассматриваемые ТУ должны находиться в работоспособном состоянии в готовности к применению по назначению в случайный момент времени на некотором временном интервале. В определенных условиях момент или интервал времени возможного применения ТУ по назначению может быть известен с некоторой достоверностью, что ослабляет требования по непрерывному поддержанию количественного состава ТУ, одновременно находящихся в работоспособном состоянии.

Это обстоятельство создает условия для продления сроков эксплуатации отдельных ТУ за счет изменения режимов расходования ресурсов, как составных частей, так и ТУ в целом.

Продление сроков эксплуатации отдельных ТУ происходит за счет снижения интенсивности расходования ресурсов. Для этого изменяется исходное положение ТУ, что приводит к ухудшению отдельных характеристик и снижению в определенных условиях вероятности успешного выполнения задач, стоящих перед отдельными ТУ. В результате изменения исходного положения происходит перевод части ТУ из области работоспособных в область ограниченно работоспособных состояний. Для последующего приведения в исходное положение и полное восстановление работоспособности ТУ требуются определенные временные затраты.

Решение задачи поддержания состава и необходимого состояния ТУ, прежде всего, предполагает выбор показателя, характеризующего количество ТУ, находящихся в каждый момент времени в работоспособном состоянии, чувствительного к изменению режимов расходования ресурсов в зависимости от изменения исходного состояния систем, входящих в состав ТУ [1, 2].

Основные функциональные зависимости

В качестве такого показателя предлагается рассмотреть долю ТУ, находящихся в каждый момент времени в работоспособном состоянии ($N_{ТУ}$), чувствительную к режиму расходования ресурсов и изменению исходного состояния систем, входящих в состав ТУ.

В результате изменения исходного состояния происходит перевод части ТУ из области работоспособных в область ограниченно работоспо-

собных состояний. Для приведения в исходное положение и полное восстановление работоспособности ТУ требуются временные затраты t_{np} .

В тоже время нахождение части ТУ в области ограниченной работоспособности создает предпосылки к продлению сроков эксплуатации t_3 отдельных ТУ за счет снижения интенсивности расходования ресурсов.

В качестве исходных параметров, необходимых для количественной оценки показателя рассмотрим следующие:

- интенсивность достижения ТУ предельного состояния и, как следствие, прекращение его эксплуатации – λ ;
- интенсивность восстановления работоспособности (перевод из области ограниченной работоспособности в область работоспособного состояния) – μ ;
- доля ТУ, находящихся в начальный момент времени в области ограниченной работоспособности – k ;
- продолжительность эксплуатации ТУ (срок эксплуатации) – t_3 ;
- продолжительность восстановления работоспособности – t_{np} .

В зависимости от характера расходования ресурса ТУ при нахождении в состоянии ограниченной работоспособности можно рассмотреть четыре основных вида функциональных зависимостей.

а. Для случая одинаковой интенсивности расходования ресурса ТУ в работоспособном и ограниченно работоспособном состояниях искомая зависимость примет вид

$$N_{ТУ}(t_3, t_{np}) = (1-k)F_{1Б}(t_3) + kF_{1Б}(t_3)F_{2Б}(t_{np}) = F_{1Б}(t_3)[1 - k(1 - F_{2Б}(t_{np}))], \quad (1)$$

где $F_{1Б}(t_3)$ – базовая функция сокращения количества ТУ в процессе эксплуатации;

$F_{2Б}(t_{np})$ – базовая функция наращивания количественного состава ТУ.

Реализация подобного характера изменения режимов функционирования ТУ возможна при необходимости снижения уровня потенциальной опасности при нахождении ТУ в работоспособном состоянии.

б. При наличии различных интенсивностей расходования ресурсов в рассматриваемых состояниях выражение (1) примет вид

$$N_{ТУ}(t_3, t_{np}) = (1-k)F'_{1Б}(t_3) + kF'_{1Б}(t_3)F_{2Б}(t_{np}), \quad (2)$$

где $F'_{1Б}(t_3)$ – базовая функция сокращения количества ТУ, находящихся в ограниченно работоспособном состоянии.

с. В случае, когда нахождение ТУ в ограниченно работоспособном состоянии практически

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

не сопровождается расходом ресурса основных систем, имеем следующую зависимость.

$$N_{TY}(t_3, t_{np}) = (1-k)F_{1B}(t_3) + kF_{2B}(t_{np}) = F_{1B}(t_3) + k[F_{2B}(t_{np}) - F_{1B}(t_3)]. \quad (3)$$

d. В случае, когда нахождение ТУ в ограниченно работоспособном состоянии сопровождается дополнительными безвозвратными потерями ТУ, например, прямо пропорциональными величине $1-k$, выражение (1) примет вид

$$N_{TY}(t_3, t_{np}) = (1-k)F_{1B}(t_3) + (1-k)kF_{1B}(t_3)F_{2B}(t_{np}) = (1-k)[F_{1B}(t_3) + kF_{1B}(t_3)F_{2B}(t_{np})] = (1-k)F_{1B}(t_3)[1 + kF_{2B}(t_{np})]. \quad (4)$$

Варианты (b, c, d) предполагают продление сроков эксплуатации при сохранении возможности оперативного наращивания множества работоспособных ТУ.

С целью проведения детального анализа влияния входных параметров на изменение выходных параметров рассматриваемых выражений необходимо задаться конкретным видом функциональных зависимостей (1)-(4). Сделаем допущение об экспоненциальном характере изменения базовых функций. Такое допущение обосновано тем, что рассматриваются события, заключающиеся в переходе сложных технических устройств из одного состояния в другое, а работы по теории надежности сложных технических систем с восстановлением подтверждают правомочность использования экспоненциальных законов распределения для случайных временных параметров [3, 4].

$$F_{1B}(t_3) = e^{-\lambda t_3}; \quad (5)$$

$$F_{2B}(t_{np}) = e^{-\mu t_{np}}. \quad (6)$$

Произведем подстановку выражений (5) и (6) в рассмотренные функциональные зависимости (1)-(4).

После подстановки функциональные зависимости (1)-(4) примут вид (таблица 1).

Проведенный анализ полученных выражений показывает, что:

- Вне зависимости от характера расходования ресурсов ТУ в работоспособном и ограниченно работоспособном состоянии, при незначительных значениях $k \rightarrow 0$, все рассматриваемые функциональные зависимости сводятся к виду $N_{TY}(t_3, t_{np}) = e^{-\lambda t_3}$, свидетельствующему о том, что при малых значениях k применение ресурсосберегающих технологий малоэффективно.

- При существенно больших значениях $k \rightarrow 1$ преимущественно обладают стратегии с незначительным расходом ресурса ТУ в ограниченно работоспособных состояниях, которые способны привести к существенному увеличению продолжительности эксплуатации ТУ $-t_3$.

- Стратегия с дополнительными безвозвратными потерями ведет к ускоренному сокращению продолжительности функционирования совокупности ТУ.

- Для получения оценки степени влияния параметров рассматриваемых функциональных зависимостей на изменение показателя N_{TY} требуется проведение исследований характера изменения основных параметров.

Таблица 1
Виды функциональных зависимостей

Обозначение зависимости	Характеристика состояний ТУ (РС – работоспособное состояние) (ОРС – ограниченно работоспособное состояние)	Аналитическое выражение функциональной зависимости
a.	Одинаковые интенсивности расходования ресурса ТУ в РС и ОРС	$N_{TY}(t_3, t_{np}) = e^{-\lambda t_3} (1 - ke^{-\mu t_{np}})$
b.	Различные интенсивности расходования ресурса ТУ в РС и ОРС	$N_{TY}(t_3, t_{np}) = (1-k)e^{-\lambda t_3} + ke^{-\lambda t_3} (1 - e^{-\mu t_{np}})$
c.	Отсутствие расхода ресурса ТУ в ОРС	$N_{TY}(t_3, t_{np}) = e^{-\lambda t_3} + k(1 - e^{-\lambda t_3} - e^{-\mu t_{np}})$
d.	Дополнительные безвозвратные потери ТУ в ОРС	$N_{TY}(t_3, t_{np}) = (1-k)e^{-\lambda t_3} [1 + k(1 - e^{-\mu t_{np}})]$

Характер изменения основных параметров

В зависимости от стратегий расходования ресурса доли (количества) ТУ, переведенных в область ограниченной работоспособности, а также интенсивности восстановления работоспособности этих ТУ суммарная доля (количество) ТУ, находящихся в работоспособном состоянии, представляет собой вполне определенную зависимость от перечисленных параметров.

Для анализа характера изменения параметра t_3 проведем преобразование зависимости (а) в таблице 1

$$N_{TV}(t_3, t_{np}) = e^{-\lambda t_3} (1 - k e^{-\mu t_{np}})$$

путем логарифмирования его левой и правой части

$$\ln N_{TV}(t_3, t_{np}) = -\lambda t_3 + \ln(1 - k e^{-\mu t_{np}}). \quad (7)$$

Отсюда:

$$t_3 = \frac{\ln(1 - k e^{-\mu t_{np}}) - \ln N_{TV}(t_3, t_{np})}{\lambda} \quad (8)$$

или

$$t_3 = \ln \frac{1 - k e^{-\mu t_{np}}}{N_{TV}(t_3, t_{np})} / \lambda. \quad (9)$$

Фактически выражения (8) и (9) показывают зависимость t_3 от всех параметров исходной зависимости (а), в частности при фиксированных значениях $N_{TV}(t_3, t_{np})$ и выбранных значениях λ и μ получим зависимость t_3 от t_{np} . Полученную таким образом зависимость в системе координат (t_3, t_{np}) можно определить как линию равных уровней для функции $N_{TV}(t_3, t_{np})$.

Аналогичные преобразования для зависимости (д) в таблице 1, характеризующей наличие дополнительных безвозвратных потерь ТУ, находящихся в ограниченно работоспособном состоянии, приводят к следующей зависимости:

$$t_3 = \frac{\ln(1-k) - \ln N_{TV}(t_3, t_{np}) + \ln(1 + k(1 - e^{-\mu t_{np}}))}{\lambda}. \quad (10)$$

Проведенные преобразования показывают возможность получения аналитических зависимостей между основными параметрами выражений (а) и (д) (таблица 1). Однако аналитические преобразования для других зависимостей таблицы представляют значительные трудности и требуют применения современных программных средств.

Линии равных возможностей ресурсосберегающих стратегий

Сопоставление двух любых зависимостей, отличающихся значениями параметров в системе координат $N_{TV}(t_3, t_{np})$, позволяет получить линию пересечения поверхностей, представляющую собой линию равных возможностей ресурсосберегающих стратегий.

По сути, эта линия характеризует равные возможности разных вариантов (стратегий) реализации ресурсосберегающих технологий.

Для случая одинакового расходования ресурса рассмотрим две зависимости с различными значениями параметра k равными k_1 и k_2 . Практическая значимость сравнения этих вариантов заключается в оценке возможной глубины снижения уровней работоспособности с точки зрения определения целесообразной длительности эксплуатации.

С этой целью применим операцию логарифмирования для исходного выражения (а).

Для $k=k_1$ получим

$$\ln N^{(1)}_{TV}(t_3, t_{np}) = -\lambda_1 t_3 + \ln(1 - k_1 e^{-\mu_1 t_{np}}). \quad (11)$$

Для $k=k_2$ получим

$$\ln N^{(2)}_{TV}(t_3, t_{np}) = -\lambda_2 t_3 + \ln(1 - k_2 e^{-\mu_2 t_{np}}). \quad (12)$$

Для получения зависимостей, определяющих линии равных возможностей, а именно, $(t_{np}, t_3 = f)$ запишем равенство выражений (11) и (12)

$$\ln N^{(1)}_{TV}(t_3, t_{np}) = \ln N^{(2)}_{TV}(t_3, t_{np}). \quad (13)$$

или

$$-\lambda_1 t_3 + \ln(1 - k_1 e^{-\mu_1 t_{np}}) = -\lambda_2 t_3 + \ln(1 - k_2 e^{-\mu_2 t_{np}});$$

$$\lambda_2 t_3 - \lambda_1 t_3 = \ln(1 - k_2 e^{-\mu_2 t_{np}}) - \ln(1 - k_1 e^{-\mu_1 t_{np}}).$$

Отсюда

$$t_3 = \ln \left(\frac{(1 - k_2 e^{-\mu_2 t_{np}})}{(1 - k_1 e^{-\mu_1 t_{np}})} \right) / (\lambda_2 - \lambda_1). \quad (14)$$

Проверка на адекватность результатов при граничных значениях аргумента показывает, что:

при $t_{np} = 0$,

$$t_3 = \ln \left(\frac{(1 - k_2)}{(1 - k_1)} \right) / (\lambda_2 - \lambda_1), \quad (15)$$

а при $t_{np} = \infty, t_3 = 0$, что подтверждает формальную логику анализируемых процессов.

Следует отметить, выражение (15) справедливо при

$$k_2 < k_1; \lambda_2 > \lambda_1;$$

$$k_1 < 1 \text{ и } k_2 < 1,$$

что в полной мере соответствует рассматриваемому принципу ресурсосбережения.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Аналогичные преобразования для варианта, предусматривающего наличие дополнительных безвозвратных потерь ТУ, находящихся в ограниченно работоспособном состоянии (зависимость (d), таблица 1), позволили получить следующее выражение

$$t_3 = \frac{\ln(1-k_2) + \ln[1 + k_2(1 - e^{-\mu_2 t_{np}})] - \ln(1-k_1) - \ln[1 + k_1(1 - e^{-\mu_1 t_{np}})]}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (16)$$

Полученное выражение при $t_{np}=0$ примет вид

$$t_3 = \frac{\ln(1-k_2) - \ln(1-k_1)}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \ln\left(\frac{(1-k_2)}{(1-k_1)}\right), \quad (17)$$

а при $t_{np} = \infty$

$$t_3 = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \ln\left(\frac{(1-k_2)(1+k_2)}{(1-k_1)(1+k_1)}\right) = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \ln\left(\frac{(1-k_2^2)}{(1-k_1^2)}\right). \quad (18)$$

Рассмотренные варианты функциональных зависимостей ресурсосберегающих стратегий позволяют получить аналитические выражения для линий равных возможностей при различных стратегиях.

Получение в явном виде подобных выражений для функциональных зависимостей (b, c) представляется сложным. Поэтому сравнительный анализ стратегий, имеющих различные характеристики процесса расходования ресурсов, был проведен с помощью современного математического пакета «Mathcad 15.0», позволяющего наглядно представить характер изменения рассматриваемых функциональных зависимостей от выбранных параметров.

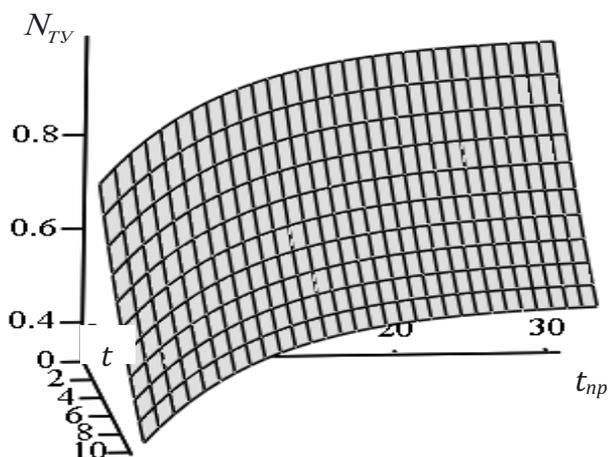


Рис. 1. График изменения $N_{TV}(t_3, t_{np})$

На рисунке 1 наглядно представлена зависимость $N_{TV}(t_3, t_{np})$ для стратегии b (таблица 1) при следующих исходных данных: $\lambda=0,003$ 1/час; $\lambda_1=0,0002$ 1/час; $\mu=0,005$ 1/час; $k=0,3$; одно деление шкалы по оси абсцисс t_3 равно 10000 часам, а одно деление шкалы по оси ординат t_{np} равно 24 часам (одни сутки).

При этом линии уровней поверхности $N_{TV}(t_3, t_{np})$ имеют вид, представленный на рисунке 2.

Линии уровней характеризуют количественную оценку степени влияния продолжительности восстановления работоспособного состояния при заданной длительности эксплуатации на показатель $N_{TV}(t_3, t_{np})$. Важно отметить, что при принятых исходных данных это влияние остается весьма существенным практически до окончания срока эксплуатации.

Оценка возможностей ресурсосберегающих стратегий предполагает получение сравнительных характеристик стратегий на определенных массивах исходных данных. При этом существенным элементом такой оценки является получение области неопределенности, в нашем случае линии равных возможностей, которая определяет границу доминирования той или иной стратегии.

С целью получения сравнительной оценки стратегий рассмотрим стратегию, которая определяется исходными данными для поверхности, представленной на рисунке 1, и стратегию, которая по совокупности принятых исходных данных отличается только тем, что она не является ресурсосберегающей, то есть для нее $k=0$. Для наглядности графики функций, характеризующих стратегии представлены в единой системе

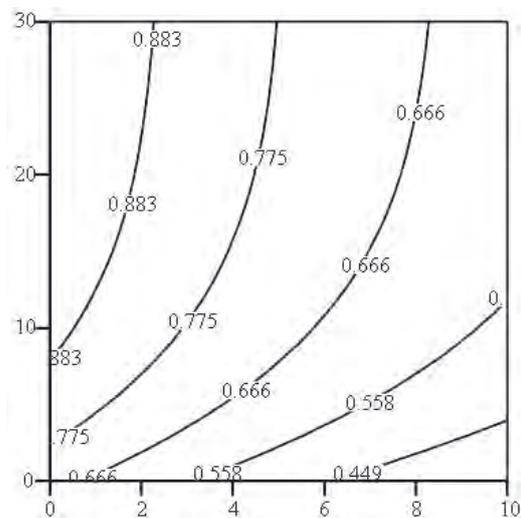


Рис. 2. Линии уровней функции $N_{TV}(t_3, t_{np})$

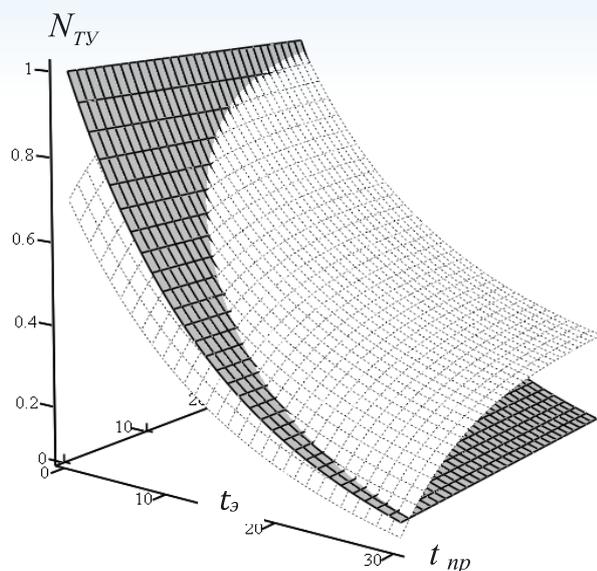


Рис. 3. Графики изменения $N_{TV}(t_э, t_{нр})$ для двух стратегий

координат на *рисунке 3*.

Полученное на *рисунке 3* совместное изображение двух функциональных зависимостей в виде пересекающихся поверхностей дает наглядное представление об областях доминирования стратегий в диапазонах изменения исходных данных. При этом линия пересечения поверхностей представляет собой линию равных возможностей, нахождение на которой не дает предпочтения ни одной из стратегий.

Сравнительная характеристика линий уровня для рассматриваемых стратегий, представленная на *рисунке 4* подтверждает возможность обеспечения заданного количества работоспособных ТУ на различных временных интервалах за счет изменения уровня технического со-

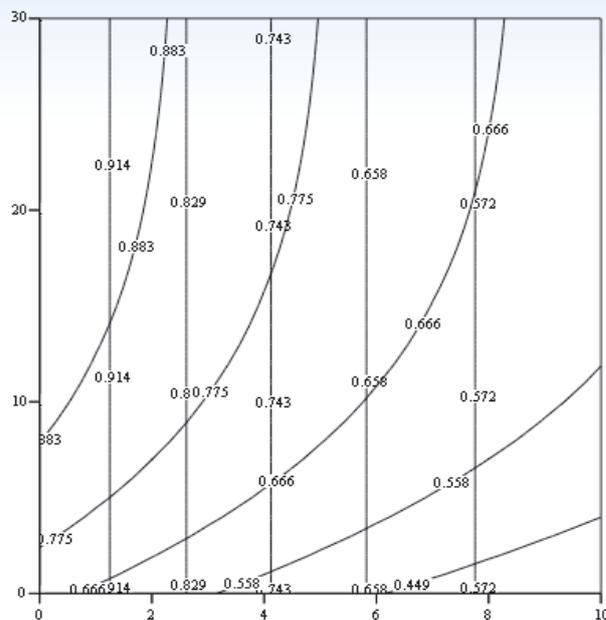


Рис. 4. Линии уровней функции $N_{TV}(t_э, t_{нр})$ для двух стратегий

стояния отдельных ТУ. Особенно важна реализация такого подхода на завершающем этапе эксплуатации ТУ в условиях, когда необходимо обеспечить требования по увеличению ТУ, находящихся в работоспособном состоянии.

Литература

1. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 томах. Т.3 Эффективность технических систем / Под ред. Уткина В.Ф., Крючкова Ю.В. М.: Машиностроение, 1988.
2. Емелин Н.М. Надежность ракетно-космических комплексов. М: Интерфизика, 2007.
3. Емелин Н.М. Отработка систем технического обслуживания летательных аппаратов. М: Машиностроение, 1995.
4. Емелин Н.М. Прикладные задачи надежности сложных технических систем. М: Интерфизика, 2007.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

УДК 338.245

ГИБКИЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ БОЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ЭКОНОМИКИ

Игорь Анатольевич Шерemet

доктор технических наук, профессор

Член коллегии Военно-промышленной
комиссии Российской Федерации
Председатель совета ВПК РФ по АСУ, связи,
разведке, РЭБ и информационному
противоборству
Вице-президент Академии военных наук
Адрес: 103274, Москва,
Краснопресненская наб., д. 2

Различные подходы к разрешению противоречия в рамках разных классов сетцентрической системы определяют состояние вопроса реализуемости метауправления на основе гибких информационных технологий. В статье представлены перспективы и возможные последствия освоения гибких технологий как средства повышения боевой эффективности вооруженных сил и конкурентоспособности экономики. В частности, рассмотрены аддитивные производства в промышленности, военной и ракетно-космической областях. Отмечено, что 3D-печать является универсальным подходом к решению проблем конверсии. Сформулированы приоритетные задачи в сфере развития и повсеместного внедрения гибких технологий в нашей стране.

Different approaches to conflict resolution within different classes of network-centric systems determine the state of the question of realizability of methoprene based on flexible information technology. The article presents the perspectives and the possible consequences of the development of flexible technologies as a means of increasing the combat effectiveness of the armed forces and the competitiveness of the economy. In particular, the additive manufacturing industry, military and aerospace fields. It is noted that 3D printing is a universal approach to solving problems of conversion. Formulated priority tasks in the sphere of development and widespread introduction of flexible technologies in our country.

Ключевые слова: гибкие технологии, метауправление, боевая эффективность, вооруженные силы, конкурентоспособность экономики, конверсия, 3D-печать, оружие и военная техника.

Key words: flexible technologies, methoprene, the combat effectiveness, armed forces, economic competitiveness, conversion, 3D-printing, weapons and military equipment.

Существующая техническая основа системы управления российскими вооруженными силами до настоящего времени имеет преимущественно так называемое «стволовое» строение, в рамках которого функционирует значительное число изолированных друг от друга систем связи, обслуживающих АСУ различных воинских формирований (ВФ) и органов управле-

ния (рисунки 1). «Стволовой» принцип построения ограничивает эффективность системы управления, консервируя ее дезинтегрированность, уязвимость для системоразрушающих воздействий и неприспособленность к реализации новых форм вооруженной борьбы с применением массовых робототехнических и гибридных группировок.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

Перспективная **сетевая** организация любой системы управления [1-4] предполагает наличие системообразующей сети и сетевых коммутаторов для доступа в эту сеть у всех антропогенных и технических (робототехнических) объектов, входящих в систему (рис. 2). Подобный подход позволяет естественным образом перенести на систему управления вооруженными силами весь наработанный научно-техническим сообществом комплекс сетевых технологий и обеспечить существенное повышение ее эффективности, устойчивости и открытости для интеграции с поступающей в войска военной робототехникой.

С технологической точки зрения наиболее рациональным является представление сетевой системы (СЦС) в виде совокупности трех объединенных упомянутой системообразующей сетью сегментов: сенсорного, акторного и интеллектуального (рис. 3). **Сенсоры** обеспечивают обнаружение и контроль объектов противника по их проявлениям в различных физических полях материального пространства и областях информационного пространства, формирование информативных сообщений о проявлениях контролируемых объектов и их немедленную отправку посредством системообразующей сети интеллектуальным центрам (ИЦ). Сенсоры могут размещаться на космических, воздушных, наземных, надводных, подводных и многосредных носителях и обеспечивать ведение радиоэлектронного (активного и пассивного), оптоэлектронного, магнитометрического, сейсмического, акустического и информационно-технологического мониторинга. **Интеллектуальные центры** (ИЦ) осуществляют комплексную интеллектуальную обработку потоков сообщений, поступающих от разнородных территориально разнесенных подвижных и стационарных сенсоров, с использованием ин-

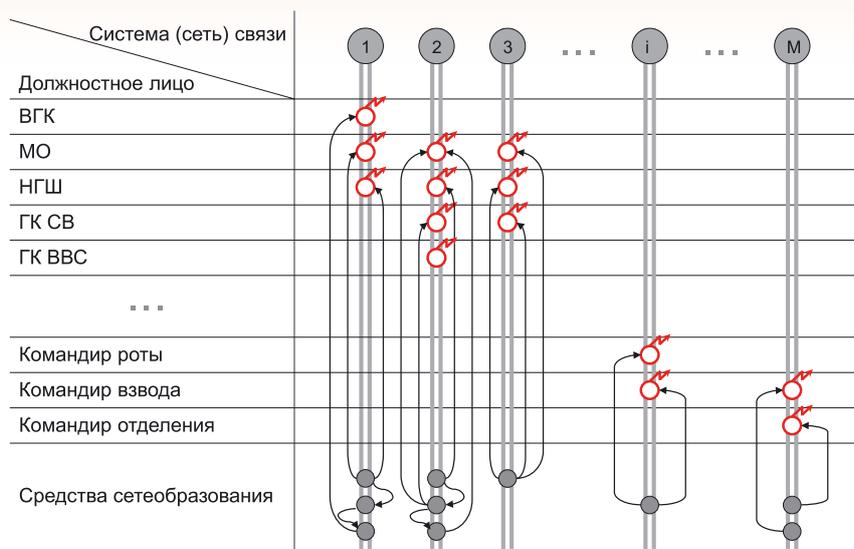


Рис. 1. «Стволовое» строение системы управления

формации из единой базы данных СЦС и формируют управляющие сообщения, которые поступают **акторам**, реализующим огневое (кинетическое) поражение, а также радиоэлектронное (сигнальное), энергетическое и информационно-технологическое воздействие на материальные и информационные объекты противника. Акторы могут размещаться на всех перечисленных выше носителях, а управляющие сообщения могут адресоваться также и сенсорам с целью их ориентации на те или иные области и объекты, а также возможные признаки проявления последних. Единая **распределенная база данных** СЦС является интегрированным хранилищем постоянно актуализируемой и оперативно доступной информации о текущем состо-

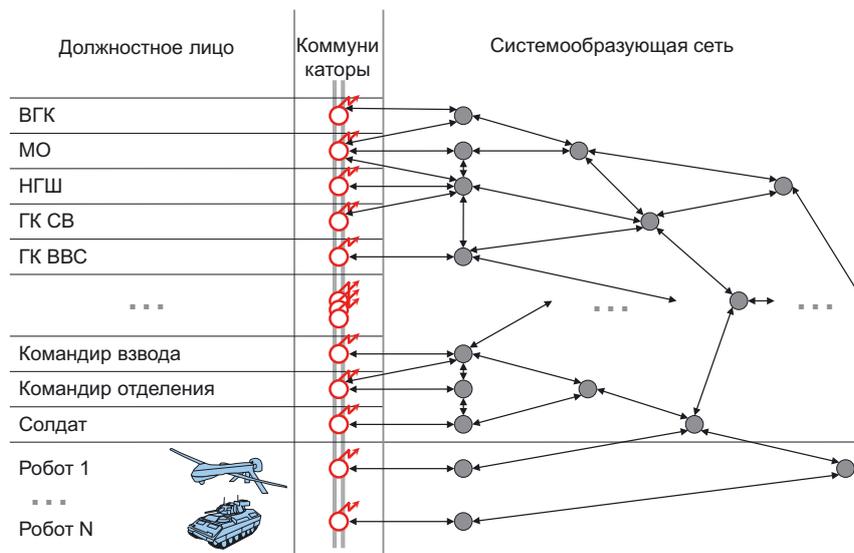


Рис. 2. Сетевое строение системы управления

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ



Рис. 3. Обобщенная структура сетецентричной системы

янии контролируемых объектов противника и своих сил и средств, а также ретроспективной и прогнозной информации.

Все образующие СЦС элементы функционируют в **едином информационном простран-**

стве, тремя ключевыми сегментами которого являются:

1) единое адресное пространство, в котором каждый элемент СЦС идентифицируется уникальным адресом;

2) единое пространство сообщений, циркулирующих между адресуемыми элементами и обрабатываемых (интерпретируемых) ими;

3) единое пространство фактов, накапливаемых в базе данных СЦС и используемых ее элементами.

В действительности СЦС может объединять платформоцентричные объекты (боевые корабли, самолеты, наземные средства вооруженной борьбы), каждый из которых несет свой комплект сенсоров, акторов и интеллектуальный центр, обеспечивающий рациональное функционирование объекта в условиях вооруженного противоборства. Наличие на платформе-носителе одного или нескольких сетевых коммуникаторов и построение информационно-технологической компоненты объекта в рамках системных соглашений, обеспечивающих его функционирование в едином информационном пространстве СЦС, естественным образом интегрирует этот объект в систему.

Интегральным показателем качества сетецентрической системы может считаться средняя **длительность интервала управления Δt** , в течение которого осуществляется формирование и доведение до реципиентов управляющих сообщений. При этом существенно, что значение **Δt** в течение жизненного цикла СЦС по-

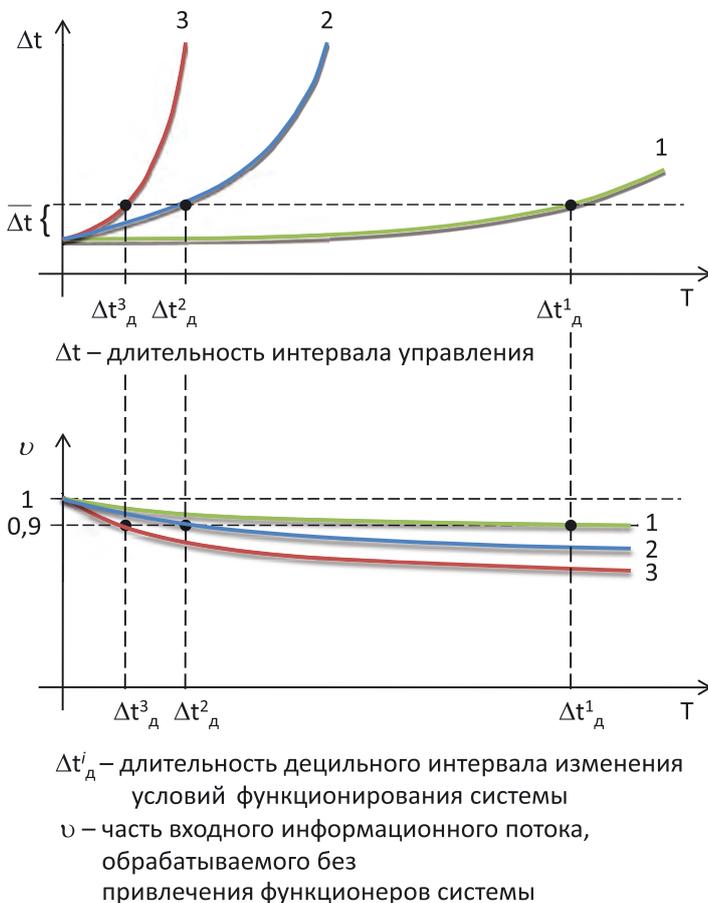


Рис. 4. Взаимосвязь длительностей интервалов управления и метауправления

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ



Рис. 5. Классификация сетцентричных систем

стоянно увеличивается, что обусловлено непрерывным изменением условий функционирования системы, которое приводит к постоянному увеличению числа «нештатных» сообщений, обрабатываемых функционерами СЦС вручную в силу того, что наличие подобных сообщений не было предусмотрено при разработке программных средств системы на момент сдачи ее в эксплуатацию (источниками этих сообщений могут быть новые типы сенсоров, акторов и интеллектуальных центров, включенных в состав системы в процессе ее функционирования, новые типы объектов противника, их пространственно-временное построение, особенности совместного функционирования, потери обеих сторон в ходе боевых действий, непредусмотренное воздействие противника и среды, в которой ведется вооруженное противоборство, и т.п.). Показателем изменчивости условий функционирования СЦС может служить средняя длительность так называемого **децильного интервала** Δt_d , в течение которого реализованная при создании системы логика обработки устаревает до уровня, когда 10% входного информационного потока обрабатывается вручную (рисунки 4).

Исходя из сказанного, сетцентричные системы могут быть классифицированы по двум признакам: длительности интервала управления и длительности децильного интервала (рисунки 5). При этом, исходя из практических соображений, к СЦС **реального времени** имеет смысл отнести системы, у которых длительность интервала управления исчисляется единицами минут. СЦС с интервалами управления, измеряемыми в секундах, будем относить к системам **жесткого реального** («ультрареального») времени, а СЦС с интервалами управления длительностью

в десятки минут – к системам **мягкого реального** («квазиреального») времени. Что касается длительности децильного интервала, то к СЦС со **стабильными условиями** функционирования уместно отнести системы, для которых величина Δt_d составляет единицы лет, к СЦС с **изменчивыми условиями** функционирования – системы, для которых указанная величина измеряется в месяцах, а к СЦС с **крайне изменчивыми** условиями функционирования – системы, для которых длительность децильного интервала измеряется в сутках.

Системы стратегической противоракетной обороны (СПРО) являются наиболее характерным примером СЦС ультрареального времени, функционирующих в стабильных условиях. В силу того, что развитие и модернизация средств воздушно-космического нападения (СВКН) потенциальных противников в силу их сверхвысокой стоимости осуществляется эволюционно в рамках многолетних программ перевооружения и, соответственно, ТТХ СВКН остаются неизменными в течение целого ряда лет, условия функционирования системы СПРО действительно являются стабильными в указанном выше смысле. С другой стороны, обнаружение, сопровождение, селекция и поражение боевых блоков и их носителей (ракет, гиперзвуковых летательных аппаратов, других воздушно-космических средств) осуществляется системами СПРО в масштабе времени, когда каждая упущенная секунда может привести к пропуску боевого блока к защищаемому объекту. Поэтому системы СПРО относятся к системам ультрареального времени.

С другой стороны, автоматизированные системы управления войсками в оперативном и

оперативно-стратегическом звеньях характеризуются существенно более изменчивыми условиями функционирования, когда «нештатные» ситуации, требующие изменения логики обработки сообщений, поступающих от сенсоров с целью вскрытия и отслеживания объектов противника, могут возникать практически ежедневно, если не ежечасно. Однако масштаб времени, в котором ведется противоборство, характеризуется длительностями интервалов управления порядка нескольких часов (в условиях маневра живой силой и техникой). Поэтому такие системы относятся к классу СЦС квазиреального времени, функционирующих в крайне изменчивых условиях, хотя некоторые сегменты таких СЦС (например, армейская авиация и войсковая ПВО) оперируют в реальном и жестком реальном времени.

Третьим примером СЦС могут служить системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак. Такие системы включают в свой состав программно-аппаратные сенсоры, которые ведут мониторинг входящих и исходящих информационных потоков по охраняемому периметру защищаемой автоматизированной системы (компьютерной сети), и интеллектуальные центры, которые управляют сенсорами и реализуют комплексную обработку поступающих от них сообщений (на один ИЦ могут замыкаться десятки и даже сотни упомянутых сенсоров) с целью выявления признаков информационно-технологических воздействий (ИТВ) на защищаемую сеть, реализуемых «черными» хакерами либо противоборствующим спецслужбами [5-7]. При этом сенсоры ведут обработку потоков интенсивностью в десятки и сотни мегабайт в секунду, а интеллектуальные центры получают от них ежесекундно десятки малоинформативных и разнородных сообщений с признаками начала ИТВ типа «распределенный отказ в обслуживании» (Distributed Denial of Service) либо каких-нибудь иных, более изощренных, системоразрушающих воздействий.

Поскольку активными субъектами кибервойн практически ежедневно применяются новые специальные информационные технологии, внутренняя логика и внешние признаки проявления которых отличаются от известных, то и логика функционирования ИЦ должна постоянно адаптироваться к применяемым способам добывания сведений из защищаемых сетей и воздействия на их ресурсы. Поэтому подобные СЦС являются системами ультрареального времени, функционирующими в крайне изменчивых условиях.

Возвращаясь к АСУ оперативного и оперативно-стратегического звеньев отметим, что еще в 1978 году исследовательским центром ВВС США Райт-Паттерсон по результатам проведенного моделирования было показано, что наличие у одной из противоборствующих сторон возможностей по перепрограммированию своих боевых компьютеров в течение двух суток до начала боестолкновения (и отсутствие подобных возможностей у другой стороны) сокращает потери первой не менее чем в два раза. Не подлежит сомнению, что в условиях повсеместной роботизации вооруженных сил эта цифра имеет тенденцию к многократному увеличению [8].

В [4] было введено понятие боевой робототехнической группировки (БРГ) как совокупности боевых и обеспечивающих ведение боевых действий роботов, реализующих рациональное коллективное поведение по решению возложенных на нее задач. БРГ являются прямой реализацией установки, лежащей в основе развития вооруженных сил ведущих зарубежных стран: *вместо того, чтобы использовать роботов там, где невозможно использовать людей, следует использовать людей только там, где невозможно использовать роботов.* В рамках этой установки основное внимание уделяется развитию трех основных направлений:

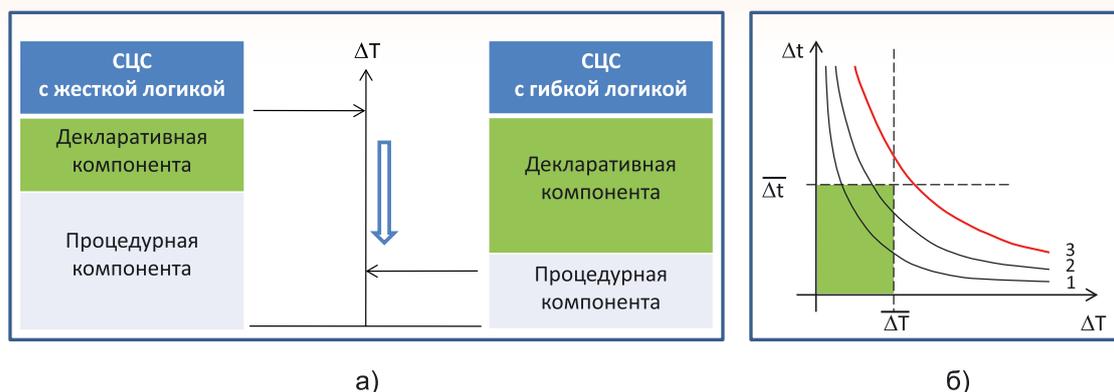
1) оптимизация индивидуальных характеристик боевых и обеспечивающих роботов (как несущих платформ, так и полезной нагрузки);

2) обеспечение максимальной связности и целостности БРГ на основе поддержания возможности информационного обмена между роботами, входящими в группировку, независимо от условий ее функционирования (в том числе при различных деструктивных воздействиях на БРГ);

3) обеспечение максимальной адаптивности БРГ к изменению упомянутых условий на основе возможности быстрого перепрограммирования роботов и центров управления ими в целях адекватного оперативного изменения логики функционирования группировки в непрерывно эволюционирующей обстановке.

Среди перечисленных направлений особое место занимает последнее, успешность реализации которого при прочих равных условиях решающим образом влияет на боевую эффективность БРГ. Робот (как и в целом робототехническая группировка) с «жесткой» и поэтому легко предсказуемой логикой поведения будет вести себя в сходных условиях практически одинаково, что создает благоприятные условия для его (ее) идентификации и нанесения ему (ей) фатального ущерба. Наиболее сложно противо-

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ



$\bar{\Delta t}$ – требуемая длительность интервала управления;
 $\bar{\Delta T}$ – требуемая длительность интервала метауправления;
 1,2 – СЦС требованиям удовлетворяют;
 3 – СЦС требованиям не удовлетворяет.

Рис. 6. Взаимосвязи управления и метауправления СЦС:
 а) СЦС с жёсткой и гибкой логикой;
 б) длительности интервалов управления и метауправления

стоять БРГ с «гибкой», непредсказуемой для противника, логикой поведения.

Следует отметить, что несмотря на активизацию исследований и разработок, направленных на создание различных типорядов военной робототехники для различных сред и условий ведения боевых действий, тематика коллективного («стайного», «роевого») применения роботов и гибридных («робото-войсковых») группировок развивается в нашей стране крайне медленно. За время, прошедшее с момента опубликования работы [4], в которой на системном уровне был поднят данный вопрос, сколь-нибудь значимого практического продвижения в данном направлении не наблюдается. Это просто недопустимо в условиях, когда весной прошлого года в США была поднята в воздух и показала слаженное функционирование боевая авиаробототехническая группировка, состоявшая из 65 беспилотных летательных аппаратов. И тем более недопустимо при наличии серьезного научно-технического задела в этой прорывной области, который создавался в течение двух десятилетий российской фундаментальной и военной наукой [8-12].

Обобщая сказанное, следует констатировать, что практически все сетевые системы, функционирующие в изменчивых и тем более крайне изменчивых условиях, должны иметь гибкую логику функционирования, реализация которой требует наличия в составе системы наряду с контуром управления контура **метауправления**, обеспечивающего возможность коррекции упомянутой логики самими операторами СЦС без привлечения разработчиков про-

граммно-аппаратных средств системы либо силами разработчиков, но без их перемещения на территориально удаленные автоматизированные объекты (тем более, в зону боевых действий) [13]. При этом показателем качества системы, характеризующим ее гибкость, может служить средняя длительность интервала метауправления ΔT , в течение которого система способна адаптироваться к изменению внешних условий. Реализация метауправления требует существенного по сравнению с «жесткими» системами увеличения доли декларативного (то есть определяющего не **как** делать, а **что** делать) представления логики функционирования СЦС посредством баз знаний, доступных для коррекции операторами интеллектуальных центров системы либо (в режиме удаленного доступа) инженерами организации, сопровождающей СЦС в течение ее жизненного цикла (рисунком 6а). Однако увеличение объема БЗ приводит к резкому увеличению времени обработки поступающих сообщений вследствие так называемого комбинаторного взрыва, порождаемого массовым перебором элементов базы знаний с целью определения их применимости для обработки конкретных сообщений. В результате имеет место противоречие между двумя показателями качества СЦС, функционирующих в изменчивых (крайне изменчивых) условиях – длительностями интервалов управления и метауправления (рисунком 6б). Иными словами, быстро адаптируемая (обучаемая и переобучаемая) система в общем случае несколько медленнее обрабатывает входной поток и наоборот.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

Различные подходы к разрешению указанного противоречия в рамках различных классов СЦС, по существу, определяют состояние вопроса реализуемости метауправления на основе **гибких информационных технологий (ГИТ)** [9, 14-17]. При этом основной принцип, реализация которого должна обеспечить необходимую гибкость любой СЦС, можно сформулировать следующим образом: скорость внесения изменений в программные средства и информационно-лингвистическое обеспечение системы должна быть не ниже скорости их деградации вследствие флуктуации внешних условий. Разумеется, при этом характеристики контура управления на интервале, когда указанные изменения вносятся, должны быть не ниже требуемых, и метауправление не должно выводить систему в целом из цикла функционирования. Для этого метауправление должно базироваться на принципе **локальной коррекции**: поскольку применение внешних условий происходит постепенно, в виде последовательности локальных эволюций, то и программные средства с информационно-лингвистическим обеспечением системы также должны быть локально корректируемыми.

Все сказанное мы соотносили, главным образом, с СЦС военного и специального назначения, однако, учитывая наибольшую сложность реализации и адаптации именно этих систем, общей особенностью которых является функционирование в условиях противоборства (крайней формой которого является вооруженный конфликт), можно утверждать, что распространение ГИТ на СЦС, функционирующие на транспорте, в топливно-энергетическом комплексе, промышленности и других невоенных областях, способно принести серьезные конкурентные преимущества тем социумам, которые окажутся наиболее восприимчивы к этой парадигме.

Обратим внимание также и на то очевидное обстоятельство, что переход к гибким информационным технологиям в качестве «побочного эффекта» имеет существенное увеличение скорости создания новых систем «с нуля», а также комплексов уже функционирующих систем.

Следует отметить, что понимание центральной роли гибких информационных технологий как средства радикального повышения боевой эффективности вооруженных сил и конкурентоспособности субъектов экономики привело к распространению идеологии гибких систем на уровень **коммуникационной инфраструктуры**. Речь идет, прежде всего, о перепрограммируемых средствах радиосвязи (Software Defined Radio, SDR), которые обеспечивают возмож-

ность оперативной коррекции тонкой структуры излучаемых (принимаемых) сигналов, параметров излучения, логики информационного обмена на физическом и канальном уровнях эталонной модели взаимосвязи открытых систем и т.д. Эта парадигма особенно ценна для военных применений, поскольку предоставляет целый спектр новых возможностей по противодействию системам радиоэлектронной разведки и радиоэлектронного подавления посредством лишения их информационной, сигнальной, а в целом ряде случаев и электромагнитной доступности к трафику своих систем на основе коррекции его структурных и физических характеристик. С другой стороны, технология SDR позволила разработчикам существенно сократить временные затраты на создание и, при необходимости, модернизацию систем связи для различных приложений – как общедоступных, так и специальных. В последнее время эта технология стала проникать и в радиолокацию, где позволяет оперативно корректировать частотно-временные параметры сигналов РЛС, обеспечивая повышение эффективности локации и разведзащищенности РЛС от средств радиотехнической разведки и РЭБ противника.

Говоря о **гибких технологиях в невоенных областях**, следует отметить, что в условиях конкуренции между субъектами любой экономической системы при прочих равных условиях преимущество имеет тот, кто имеет возможность максимально оперативно реагировать на изменение конъюнктуры рынка, то есть, в конечном итоге, потока запросов потребителей производимых и реализуемых продуктов и услуг. И наоборот, субъект, неспособный к быстрому изменению типажа и характеристик (параметров) производимых им изделий (оказываемых услуг), немедленно становится аутсайдером в силу потери сбыта результатов своей работы. Это обстоятельство было осознано в нашей стране еще в советское время, когда одним из перспективных направлений развития советской промышленности было определено создание гибких автоматизированных производств (ГАП), ориентированных на выпуск широкой номенклатуры изделий и, при необходимости, оперативную перестройку с одного типоряда выпускаемой продукции на другой. Именно в это время началось массовое внедрение станков с числовым программным управлением как одного из эффективных средств реализации ГАП. С появлением Интернета и повсеместным внедрением сетевых информационных технологий гибкие роботизированные производства стали фактором глобального распространения и глобального ро-

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

ста. В наше время не редкость наличие даже в домохозяйствах собственных гибких мини-производств, перепрограммируемых посредством получения с общедоступных Интернет-порталов файлов, в соответствии с которыми осуществляется формирование необходимых материальных объектов (самый простой пример – программируемые домашние вязальные и швейные машины).

Как представляется, в развитии гибких производств имели место два революционных, прорывных подхода: интегральные схемы и 3D-печать.

Технология **послойного формирования микросхемы**, реализующей необходимый функционал, получила повсеместное распространение именно благодаря своей универсальности и гибкости. Название «печатные платы» закрепилось за подобным образом созданными изделиями микроэлектроники благодаря тому, что процесс их изготовления, по существу, действительно превратился в печать, а оборудование, реализующее этот процесс, – в своеобразный принтер. Развитие этой технологии положило начало глобальному разделению труда, в рамках которого сформировалось относительно небольшое количество производств (фабрик) по выпуску микросхем на достигнутом к конкретному моменту времени уровне интеграции, измеряемом в количестве первичных логических элементов в единице объема либо в базовой технологической норме («шаге интеграции»). Создание и наращивание возможностей таких фабрик стоит немалых средств, в связи с чем они, как правило, являются собственностью наиболее развитых стран, групп стран либо крупных корпораций. Разработка конкретных изделий микроэлектроники либо комплектующих для них ведется большим количеством дизайн-центров, результатом работы которых являются файлы, содержание которых есть формализованные описания подлежащих изготовлению микросхем на языке, воспринимаемом оборудованием фабрик-изготовителей. Фабрика, получив посредством Интернет от дизайн-центра файл с описанием микросхемы и оплату за производство партии подобных схем в указанном в запросе количестве, обеспечивает их выпуск и отправку по указанному адресу. При этом гибкость такого производства определяется, по существу, временными затратами дизайн-центра на проектирование потребного набора микросхем (чипсета). Стремление минимизировать указанные затраты привело к появлению так называемых кремниевых компиляторов (Silicon Compilers) и интеллектуальных систем автоматизированного проектирования, исполь-

зование которых сводится, по существу, к написанию программы на языке высокого (High Level) или сверхвысокого (Very High Level) уровня. В результате обработки этой программы компилятором (САПР) формируется файл, содержащий представление микросхемы, функционально эквивалентной программе, для отправки на фабрику-изготовитель. Таким образом время с момента формулирования внешних требований (спецификаций) к микросхеме до момента получения партии микросхем сокращается до минимальных пределов.

В эти же годы параллельно шел процесс универсализации и повышения гибкости самих микросхем, чтобы обеспечить возможность их оперативного перепрограммирования в процессе их функционирования в составе систем (комплексов) и, на этой основе, существенно повысить гибкость последних. В результате появились программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) и сигнальные процессоры, использование которых в радиоэлектронных средствах (РЭС) существенно расширило возможности последних по адаптации к изменениям условий эксплуатации и, при необходимости, сверхоперативной модернизации. Закономерным результатом развития этого направления стали упоминавшиеся технологии SDR.

Возвращаясь к **гибким производствам**, имеет смысл отметить, что осмысление технологии послойного изготовления печатных плат естественным образом привело к выводу о возможности ее распространения на какие бы то ни было материальные объекты. В результате появились 3D-печать и 3D-принтеры как универсальное средство производства, называемого аддитивным (Additive Manufacturing) [18, 19]. Послойный синтез, или объемное формообразование, реализуется 3D-принтером на основе 3D-модели производимого объекта, разрабатываемой посредством соответствующей САПР и сохраняемой в так называемом STL-файле (от англ. STereoLithography – «стереолитография»). 3D-модель представляется в виде горизонтальных сечений, которые формируются принтером последовательно снизу вверх до полного получения объекта. Каждый следующий слой накладывается на предыдущий и как бы «приклеивается» к нему. Этим обеспечивается возможность изготовления объектов любой, сколь угодно сложной, формы в полном соответствии с содержимым STL-файла. В силу того, что из процесса производства полностью исключена механическая обработка, синтезированные объекты характеризуются механическими свойствами, недостижимыми для традиционных промыш-

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

ленных технологий. Степень распространения 3D-печати на максимально возможное число направлений в обозримом будущем будет определять степень гибкости производственной инфраструктуры любого субъекта глобальной экономики.

Естественно, каждый конкретный 3D-принтер обеспечивает изготовление не любых объектов каких бы то ни было размеров и форм, а вполне определенной совокупности (типоряда) таких объектов, которая ограничена функционалом САПР, размерами 3D-принтера, допустимым разнообразием используемых им исходных материалов (металлических и керамических порошков), их свойствами, а также возможностями компонент 3D-принтера, которые реализуют собственно формообразование (спекание, сплавление или склеивание материалов под воздействием лазерного луча или электронного пучка). Поэтому степень гибкости производств, основанных на 3D-печати, ограничивается, в конечном итоге, характеристиками САПР, обеспечивающих формирование 3D-моделей, и 3D-принтеров, обеспечивающих материализацию этих моделей (отметим, что пока самый большой в мире 3D-принтер, созданный в Дзяньском университете (КНР), имеет размеры $1,8 \times 1,8 \times 1,8$ м [19]). При этом для выпуска потребного количества спроектированных изделий необходимы соответствующие количества расходных материалов. И, разумеется, знания и их носители, то есть конструкторы, способные спроектировать потребную 3D-модель с использованием САПР.

3D-печать открывает возможности для гибкого производства изделий мехатроники («механика + электроника») путем встраивания микросхем непосредственно в структуру изготавливаемых материальных объектов. Совместное изготовление корпуса объекта и его микроэлектронного «мозга» в отличие от отдельного (с последующей имплантацией микросхем в корпус), обеспечивает принципиально иную надежность и, при необходимости, новые, ранее не реализовавшиеся функции.

Уместно обратить внимание на то, что теоретически наиболее универсальной технологией в сфере 3D-печати может стать наноасSEMBлирование, посредством которого слои формируемого материального объекта собираются (асSEMBлируются) не из гранул порошков, а из молекул и даже атомов, в результате чего образуются фрагменты сверхчистых веществ с заданными свойствами.

Следует отметить, что глобальное распространение аддитивных производств способно

существенно повысить **рациональность производственно-сбытовых процессов**. До настоящего времени производители обеспечивают выпуск партий изделий для рынка, исходя из прогноза спроса на них. При этом значительная часть выпускаемой материальной продукции в течение длительного времени пребывает на складах, товарных базах, в хранилищах и торговых центрах, ожидая реализации, поскольку прогнозы, как правило, не вполне совпадают с действительностью. Не случайно производство (сборка) наиболее сложных и дорогих технических изделий (автомобилей, яхт, самолетов и т.п.) осуществляется производителями по запросам и при условии стопроцентной предоплаты, необходимой для компенсации всех расходов в рамках технологического цикла.

Парадигма аддитивного производства позволяет реализовать принцип обеспечения потребителей необходимыми товарами «по заказу» (on request): для получения необходимого продукта (их партии) достаточно посредством Интернета зайти на портал производителя и задать, какие объекты, к какому сроку и в какие точки должны быть доставлены. В ответе будет иметь место стоимость заказа и, если заданный в запросе срок нереален, то минимальное время, необходимое для выполнения заказа. После внесения покупателем необходимой суммы осуществляется планирование выполнения заказа производственной сетью и запускаются процессы формообразования потребных изделий с их последующей доставкой по транспортно-логистическим цепочкам в нужные точки. При этом имеет место именно сеть аддитивных производств, обслуживающих порталы, через которые осуществляется заказ изделий (рисунк 7). Задача владельцев указанных производств сводится к поддержанию 3D-принтеров в работоспособном состоянии, их обеспечению необходимыми для печати ресурсами и организации вывоза изготовленных объектов для доставки по транспортной инфраструктуре их заказчикам. Понятно, что подобное «сетевое аддитивное производство», являясь естественным обобщением описанного выше глобального производства изделий микроэлектроники, гораздо рациональнее и устойчивее к деструктивным воздействиям, чем традиционное.

При таком подходе повсеместно распространенный сегодня Интернет-трейдинг, который оперирует готовыми, заранее произведенными изделиями, получает свое логическое развитие, в рамках которого потребные людям материальные объекты появляются только тогда, когда в них действительно возникает необ-

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

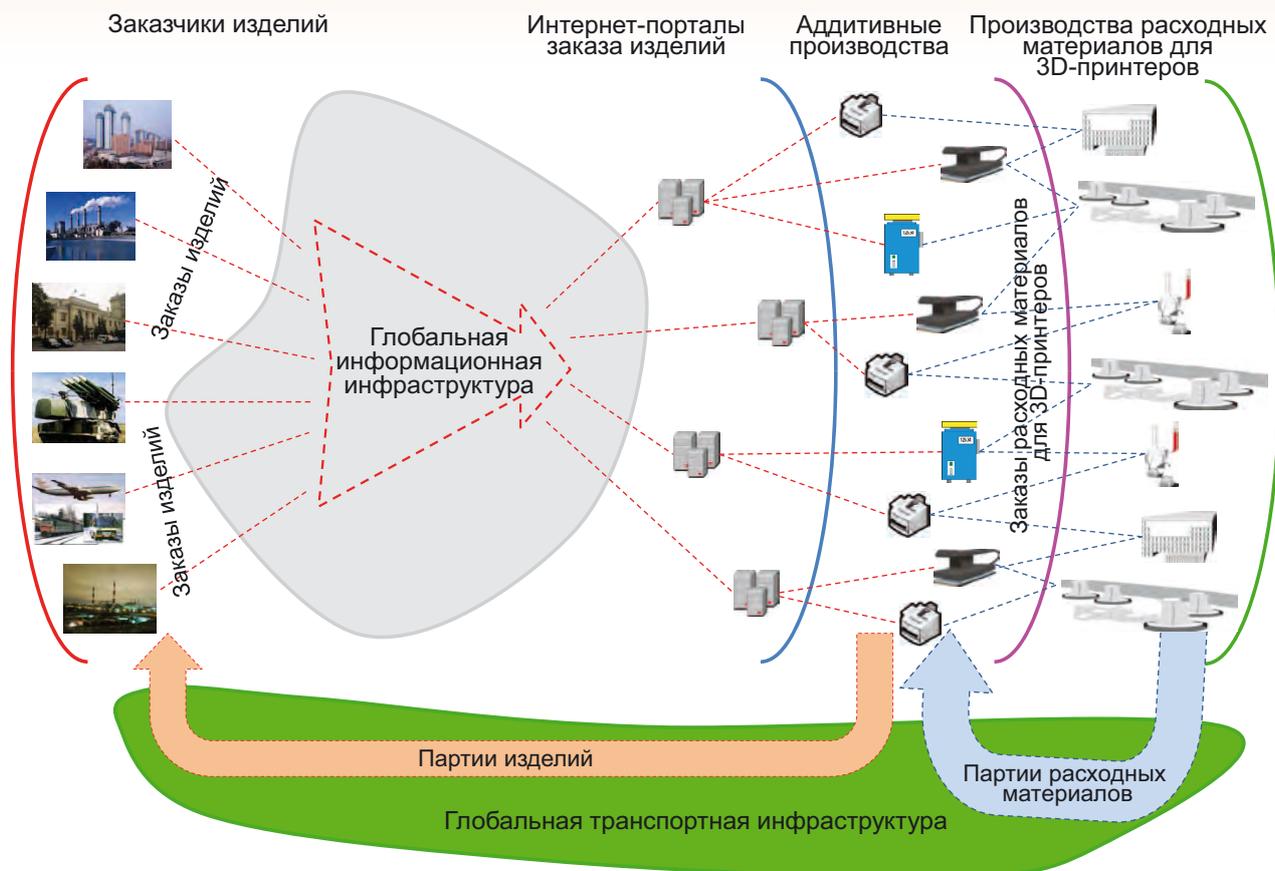


Рис. 7. Функционирование глобальной сети аддитивных производств

ходимость. При этом избыточность производства, а значит и перерасход используемых в процессе традиционного (пусть даже «бережливом») производства материальных и энергетических ресурсов сводится к минимуму. Фактически именно на основе аддитивных производств целые сегменты мировой экономики, а в конечном итоге, и человечество в целом, способны выйти на гораздо более рациональные модели поведения, а де-факто уже существующий «Интернет вещей» (Internet of Things) дополнится аддитивно-производственным сектором, существенно изменяющим алгоритм функционирования использующих его социумов. Отметим, что благодаря этому сектору «Интернет вещей» становится «самовоспроизводимым», то есть пополняющим сам себя новыми устройствами (в том числе сенсорами, компьютерами, средствами сетеобразования и т.д.), которые сам же и производит. (В этом контексте нетрудно представить «3D-метапринтер», способный печатать другие 3D-принтеры, «3D-мета-метапринтер» и т.д. – разумеется, каждый очередной объект этого ряда должен иметь размеры больше предыдущего).

В складывающейся глобальной технологической среде благодаря аддитивным производствам будут конкурировать уже не столько производители материальных объектов, сколько производители знаний, необходимых для синтеза материальных объектов, и конструкторы последних. Тем самым массовое распространение аддитивных производств ознаменует собой реальный переход к глобальной «экономике знаний», в рамках которой преимущество получают те социумы, которые обладают более эффективными системами образования (то есть передачи и распространения имеющихся знаний между индивидуумами) и исследований (то есть генерации новых знаний).

В Соединенных Штатах быстро осознали прорывной характер аддитивных производств. В 2013 году президент Б. Обама в своем ежегодном послании к стране упомянул 3D-печать как технологию, которая обладает потенциалом революционного изменения производства всего, что выпускается в США. Государственные инвестиции в развитие аддитивных производств постоянно растут, и в 2013 году они составили уже 200 млн. долларов. При этом государственная

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

поддержка данного направления успешно сочетается с краудфандингом и краудсорсингом, когда финансирует и разрабатывает технологии вся интеллектуально и экономически активная часть социума.

Особо стоит сказать о применении аддитивных производств **в военной и ракетно-космической областях**.

Проведенный по заказу американского министерства обороны анализ прогнозов развития технологий на период 2013-2043 год показал, что наряду с технологиями расширения возможностей человека (Human 3.0) и робототехникой аддитивные производства рассматриваются ведущими исследовательскими центрами США как одно из трех наиболее перспективных направлений в военном деле [19]. При этом, по мнению американских специалистов, 3D-печать в обозримом будущем обеспечит изготовление для вооруженных сил следующих объектов:

1) образцов вооружения и военной техники, а также запасных частей и комплектующих изделий для них;

2) боеприпасов (как поражающих, так и метательных элементов) для стрелковых, артиллерийских и ракетных комплексов;

3) экипировки военнослужащих;

4) ресурсов, необходимых для функционирования вооружения и военной техники и личного состава.

Что касается **первого** из перечисленных сегментов, то имевший место факт печати пистолета Кольт М191 [18] можно считать стартом «гонки печатаемых вооружений», в рамках которой уже предложено «напечатать крейсер» [19].

3D-печать комплектующих производителями оружия – явление, давно никого не удивляющее. В частности, один из «тяжеловесов» американского оборонно-промышленного комплекса, корпорация «Боинг», производит по технологии послойного синтеза более 300 типов деталей для 10 типов самолетов и в ближайшем будущем планирует начать печатать беспилотные летательные аппараты. Другой «тяжеловес», «Локхид Мартин», планирует полностью перейти на аддитивные технологии в течение ближайших десяти лет. Уже в начале 2014 года по заказу Lockheed Martin Space Systems фирма Red Eye методом 3D-печати изготовила макет топливного бака космического аппарата, имеющий длину более 2 метров. Другая американская фирма, Made in Space, планирует изготавливать пластиковые детали посредством 3D-принтера на борту международной космической станции (МКС).

Развитие идеи 3D-печати в космосе привело американских специалистов к разработке за-

мысла аддитивного производства миниатюрных космических аппаратов (так называемых наноспутников) непосредственно на борту обитаемых космических станций с последующим запуском изготовленных аппаратов на высокие околоземные орбиты. Планируется организовать массовое изготовление и выведение наноспутников (в том числе военного назначения) с перспективной орбитальной станции Grand Central Station. По заявлению представителя упомянутой компании Made in Space, 3D-принтер космического базирования готов к летным испытаниям на борту МКС.

Еще более далеко идущее применение 3D-печати предлагается Национальным агентством по авиации и исследованию космического пространства (НАСА). При необходимости создания жилых модулей на других планетах в качестве строительного материала может быть использован измельченный до порошкообразного состояния планетарный реголит, из которого доставленный 3D-принтер будет изготавливать строительные блоки.

3D-печать запасных частей для эксплуатируемых ВВТ «по необходимости» и непосредственно в точках, где эта необходимость возникает (в частности, на борту боевого корабля), вместо их предварительного заказа, доставки с завода-производителя, накопления на складах и последующей доставки в упомянутые точки – технология, которая реально исследуется на практике командованием снабжения военно-морских сил США [19]. Преимущества этой технологии понятны – скорость замены вышедших из строя деталей возрастает многократно, а объемы, занимаемые 3D-принтерами, в памяти которых находятся STL-файлы всех возможных запчастей (в количестве десятков тысяч), и ресурсами, потребными для их 3D-печати, столь же многократно меньше объемов, которые необходимо иметь для хранения готовых деталей (особенно размерных и сложной формы), произведенных традиционным образом (к тому же в условиях отсутствия информации о том, сколько их может понадобиться, например, в период пребывания корабля на боевой службе).

Благодаря 3D-печати вооруженные силы будут в состоянии существенно продлить продолжительность жизненного цикла образцов ВВТ: даже в случае, если производитель какого-либо образца остановит выпуск ряда деталей, военные, имея их STL-файлы и 3D-принтеры с необходимыми расходными материалами, будут способны самостоятельно изготавливать и использовать изготовленные детали для ремонта и замены.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

Второй из перечисленных выше сегментов не менее революционен. Возможность он-лайн 3D-производства необходимых боеприпасов в непосредственной близости от зоны вооруженного противоборства в корне меняет представление об организации боевых действий. Если, например, при их подготовке оказывается, что противник располагает некоторым количеством бронетехники, которая будет, вероятнее всего, применяться в определенном направлении, то для парирования предполагаемого удара достаточно оперативно напечатать посредством находящейся поблизости от этого района «фабрики» 3D-принтеров соответствующее количество противотанковых управляемых ракет и/или мин, которые немедленно подать в боевые порядки. Сама система накопления и многолетнего хранения боеприпасов на складах, где они подвержены деградации и самопроизвольной детонации, видоизменяется и избавляется от присущей ей уязвимости и внутренних дефектов. Гибкая, мобильная система аддитивного производства боеприпасов требует лишь систематической доставки расходных материалов в точки функционирования 3D-принтеров и вывоза изготовленных ракет, снарядов, мин и патронов. Заметим, что подобным образом могут изготавливаться не только средства поражения (акторы в терминологии сетецентризма), но и сенсоры (например, разведывательные беспилотники, а также разведывательно-сигнализационные приборы, обеспечивающие в случае их установки на земле или под землей выявление и контроль передвижения техники и живой силы противника).

Имея в тылу сеть 3D-принтеров с STL-файлами всех доступных для производства робототехнических средств разведки, целеуказания и поражения (в том числе разведывательно-ударных авиа- и подводных роботов), командир (командующий) будет иметь возможность в кратчайшие сроки создавать боевые робототехнические группировки необходимого состава в тех областях пространства, где это необходимо, и посредством применения гибких информационных технологий силами операторов соответствующих ИЦ программировать БРГ для решения конкретных боевых и специальных задач, после чего применять подготовленные БРГ в ходе боевых действий. (Аналогично организуется восполнение потерь, которые несут «стаи» и «рои» роботов в ходе боевых действий). Тем самым место традиционного маневра силами и средствами занимает, по существу, их «материализация» в нужных областях пространства, которая на порядки превосходит его по скрытности и скорости переброски средств вооруженной

борьбы (естественно, при условии обеспечения достаточно высокой производительности, разведзащищенности, живучести и устойчивости 3D-производственной сети и обслуживающих ее промышленных и логистических сетей, обеспечивающих выпуск и доставку в точки функционирования «боевых» 3D-принтеров необходимых им количеств расходных материалов).

Завершая рассмотрение комплекса вопросов, связанных с гибкими технологиями, отметим, что 3D-печать есть универсальный подход к решению проблем **конверсии**, то есть разворота части оборонного научно-производственного потенциала нашей страны с продукции военного назначения на продукты и услуги, необходимые ее населению. Для его реализации достаточно на 3D-принтерах «оборонки» вместо STL-файлов образцов средств вооруженной борьбы начать использовать STL-файлы рыночной продукции, а при возникновении реальных угроз военной безопасности страны осуществить обратный переход, решив тем самым целый комплекс вопросов мобилизационной подготовки экономики. Как представляется, именно этот подход подлежит ускоренному развитию в целях реализации соответствующих указаний Президента Российской Федерации, данных им Военно-промышленной комиссии в Послании Федеральному Собранию Российской Федерации 12 декабря 2013 г.

Обобщая сказанное, имеет смысл сформулировать **приоритетные задачи** в сфере развития и повсеместного внедрения гибких технологий в нашей стране:

1) формирование долгосрочной программы развития аддитивных производств в Российской Федерации и их всестороннего (в первую очередь, кадрового, ресурсного и инфраструктурного) обеспечения;

2) системное проектирование перспективного облика «экономики знаний» Российской Федерации на основе аддитивных производств и гибких информационных технологий с оценкой социальных последствий их повсеместного внедрения;

3) разработка перспективных средств, форм и способов вооруженной борьбы, основанных на гибких информационных и производственных технологиях.

В качестве первого конкретного шага в решении этих задач целесообразно незамедлительно приступить к разработке типоряда системообразующих программных (программно-аппаратных) средств, обеспечивающих максимально быстрое создание, комплексирование и эффективное применение сетевых систем,

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

функционирующих в изменчивых и крайне изменчивых условиях и имеющих в своем составе боевые робототехнические группировки, оперирующие в различных средах.

Таковы в самом общем виде перспективы и возможные последствия освоения гибких технологий, какой бы фантастикой они ни казались в наши дни. Есть основания полагать, что данное направление должно в ближайшие годы получить в России мощный импульс для развития. Автор готов оказать поддержку всем специалистам, разделяющим эту точку зрения.

Литература

1. Network – Centric Warfare: Creating a Decisive Warfighting Advantage. – Washington, DC : Department of Defense, 2004.
2. Шеремет И.А. Концепция «сетевидной войны» и особенности ее практической реализации // Независимое военное обозрение, №45, 2005.
3. Шеремет И.А. «Сетевидная война»: истоки и технические аспекты // Военно-промышленный курьер, 2006. № 7.
4. Шеремет И.А. Сетевидность и роботизация: две стороны облика боевых систем будущего // Национальная оборона, 2006. №3.
5. Лебедь С.В. Межсетевое экранирование. Теория и практика защиты внешнего периметра. Под ред. Шеремета И.А. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
6. Шеремет И.А. Киберугрозы России растут // Военно-промышленный курьер, 2014. №№ 5-6.
7. Жуков И.Ю., Михайлов Д.М., Шеремет И.А. Защита автоматизированных систем от информационно-технологических воздействий. М.: МИФИ, 2014.
8. Каляев И.А., Шеремет И.А. Военная робототехника: выбор пути // Мехатроника, автоматизация, управление, 2008. №2.
9. Шеремет И.А. Интеллектуальные программные среды для АСОИ. М.: Наука, 1994.
10. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Распределенные системы планирования действий коллективов роботов. М.: Янус-К, 2002.
11. Агеев М.Д., Киселев Л.В., Матвиенко Ю.В. и др. Автономные подводные роботы. Системы и технологии / Под редакцией Агеева М.Д. М.: Наука, 2005.
12. Гвоздев А.Е., Хрущев В.С., Шеремет И.А. К вопросу построения и боевого применения формирований боевых и обеспечивающих роботов // Вооружение. Политика. Конверсия, 2012. №6.
13. Шеремет И.А. Управление и метауправление в сетевидных системах. Материалы пленарного заседания Научной конференции «Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения». М.: «Системпром», 2011.
14. From Theory to Practice in Multi-Agent Systems. Ed. by Dunin – Keplicz, E. Nawarecki. – Lecture Notes in Computer Science. Vol. 2296, 2002.
15. Sommerville I. Software Engineering. – Addison – Wesley, 2011.
16. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. М.: Наука, 2006.
17. Рогозин Д.О., Шеремет И.А., Гарбук С.В., Губинский А.М. Высокие технологии в США. Опыт министерства обороны и других ведомств. М.: МГУ, 2013.
18. Буренок В.М. Прогресс опережает фантазию // Военно-промышленный курьер, 2014. №2.
19. Подоляк Д. 3D-печать: мы наш, мы новый мир построим // Technowars, 2014. №№6-7.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И РОБОТОТЕХНИКА

УДК 004.8

ЕЩЕ РАЗ О НЕЙРОФИЛОСОФИИ: ЧТО ЭТО ТАКОЕ?

Игорь Александрович Бугаков

*заслуженный изобретатель РФ
доктор технических наук, профессор*

Вице-президент МОУ «ИИФ»
ректор НОУ ВПО «Институт информационных
технологий и управления»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,

Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(916)641-45-89

E-mail: bia11@mail.ru

Предлагается рассматривать нейрофизиологию (НФС), во-первых, как философию нейронауки, как философию науки о принципах и законах построения и функционирования нейронов и их сетей, имеющих конечным следствием известные биологические, физиологические и, возможно, психические проявления (НФС в узком смысле) и, во-вторых, как философию нейроподхода, как философию в ее традиционном понимании, особенностью которой является ее базирование на нейроаппарате (нейроподходе), опора на знание протекающих в живых системах нейропроцессов, реализуемых механизмов мышления и поведения, обобщение которых позволяет распространить их не только на человека, но и на природу и общество (НФС в широком смысле). Обосновывается неправомерность связывания НФС только с редукцией психического к «более фундаментальному» нейрофизиологическому.

It is proposed to consider neurophilosophy (NFS), firstly, as a philosophy of neuroscience, philosophy of science as the principles and laws of construction and functioning of neurons and their networks with end-known consequence of biological, physiological, and perhaps psychic manifestations (NFS in the narrow sense) and secondly, as a philosophy neuroapproach as philosophy in its traditional sense, which feature is its basing on neuroapparatus (neuroapproach), reliance on knowledge occurring in living systems neuroprocesses implemented mechanisms of thinking and behavior, a generalization which allows us to extend them not only on person, but also on the nature and society (NFS in a broad sense). Substantiates the illegality binding NFS only with the reduction of mental «more fundamental» neurophysiological.

Ключевые слова: нейрофилософия, сложное, простое, редукция, нейронаука, философия, нейроподход, психология, нейробиология.

Key words: neurophilosophy, complex, simple, reduction, neuroscience, philosophy, neuroapproach, psychology, neurobiology.

В настоящее время все большее распространения получает понятие «нейрофилософия», которое связывают с именем канадско-американского философа Патриции Черчленд и которое несет в себе идею редукции психологии к нейронаукам, прежде всего, к нейробиологии, идею существования нейробиологического базиса всех проявлений психики [1]. Такое стремление выразить сложное через простое нельзя не приветствовать, ибо в этом и состоит одна из главных задач науки¹. Однако использование этого

подхода применительно к наиболее сложному феномену природы – феномену психического, вряд ли даст положительный эффект в ближайшем будущем, поскольку до сих пор непонятна вещественно-полевая структура неживой мате-

¹ Любое сложное есть еще непознанное простое и, наоборот, любое простое можно определить как уже познанное сложное. Сложность и простота есть характеристики не внешнего мира, а степени нашего понимания этого мира [2, 3].

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И РОБОТОТЕХНИКА

рии и механизмы ее усложнения. Вряд ли без понимания этих механизмов можно успешно редуцировать сознание к уровню нейробиологии. Это, во-первых. Во-вторых, насколько правомерно приписывать нейрофилософии именно такой смысл?

Очевидно, что составные понятия не могут трактоваться иначе как через смыслы образующих их частей, особенно если эти части являются общеупотребимыми и однозначно понимаемыми. Определенную трудность при этом может представлять вопрос выявления системного эффекта объединения известных частей в новое целое. Несомненно, что «нейрофилософия» (НФС) – это, прежде всего, философия, то есть система знаний о фундаментальных принципах и законах. Но «чего» или «на основе чего»? Если «чего», то есть применительно к чему, то речь идет о философии «нейро», философии «нейронауки», так что под НФС следует понимать науку о принципах и законах построения и функционирования нейронов и их сетей, имеющих конечным следствием известные биологические, физиологические и, возможно, психические проявления. И слово «философия» здесь подчеркивает нацеленность НФС на выявление именно фундаментальных, действительно философских оснований «нейронауки» [4, 5]. Если же «на основе чего», то есть с помощью какого инструмента, то речь уже идет о НФС как философии в ее традиционном понимании (наука о наиболее общих законах развития природы, человеческого общества и мышления), особенностью которой является ее базирование на нейроаппарате, нейроподходе, так что при получении и обосновании своих выводов НФС опирается на знание протекающих в живых системах нейропроцессов, реализуемых механизмов мышления и поведения, обобщение которых позволяет распространить их не только на человека, но и на природу и общество. В первом случае можно говорить о НФС в узком смысле (НФС_у) как философии нейронауки, во втором – о НФС в широком смысле (НФС_ш) как философии нейроподхода (философии на основе нейроподхода). Очевидно, что обе эти «нейрофилософии» взаимосвязаны, способны взаимно обогащать друг друга и потому целесообразно их совместное развитие.

Вышеизложенное понимание НФС не противоречит идее П. Черчленда о коэволюции нейро-

физиологии и психологии, однако даже в своем «узком», наиболее близком к этой идее, толковании оно не сводится в конечном итоге к редукции психического к «более фундаментальному» нейрофизиологическому и радикальному отказу от психических понятий как не имеющих явной материальной основы. Проблема не в понятиях, а в отсутствии до сих пор в науке философского понимания механизмов эмерджентного формирования «сложного» из «простого», появления «нового» из «старого», перехода «количества» в «качество». Внутри каждого иерархического уровня любой объект представим в виде обобщенного ряда Фурье [6], то есть в виде линейной комбинации базисных элементов, однако переход на более высокий уровень требует проведения нелинейных (и пока непонятно каких) преобразований. Потому одна из главных задач и НФС_у, и НФС_ш как раз и состоит в раскрытии сущности и механизмов этих нелинейных преобразований, а прежде этого, в раскрытии основных принципов построения и функционирования мозга, одним из основных которых является принцип минимальности [7, 8].

Литература

1. Churchland P. Neurophilosophy: Toward a Unified Science of the Mind-Brain. Cambridge, Massachusetts: The MIT, 1986.
2. Бугаков И.А. Заметки о системах простых и сложных // В сб. трудов XXIII межведомственной НТК «Проблемы обеспечения эффективности и устойчивости функционирования сложных технических систем», часть 4. Серпухов, 2004. С. 134-136.
3. Бугаков И.А. Системный подход как методология научного познания // Известия Института инженерной физики, 2008. №3(9). С. 80-85.
4. Бугаков И.А. Нейрофилософия: назад в будущее // itu.ru/bugakov_neiro.doc
5. Бугаков И.А. Нейрофилософия как философия нейронауки // Известия Института инженерной физики, 2014. №2(32). С. 43-45.
6. Бугаков И.А. Обобщенный ряд Фурье как универсальный образ действия // В сб. трудов XXV Межрегиональной научно-технической конференции «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем», часть 2. Серпухов, 2006, С. 261-267.
7. Бугаков И.А. Принцип минимальности и деятельность мозга // В книге «150 лет «Рефлексам головного мозга» // Сб. научных трудов, посвященный изданию статьи И.М. Сеченова. М. ИИнтелл, 2014. С. 291-316.
8. Бугаков И.А. Минимальность как «кредо» мозга // Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2014. №4. С. 13-14.

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

УДК 347.7, 006.01

КВАЛИМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ВУЗОВ

Олег Николаевич Андрух

кандидат технических наук, доцент

заместитель генерального директора
по научно-методической работе
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: oandruh@mail.ru

Анна Сергеевна Сидорова

младший научный сотрудник МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

В статье проанализирована возможность использования основных методов оценки качества продукции, применяемых в квалиметрии, для оценки качества деятельности преподавателей вузов. Выявлены отличительные особенности данных методов и степень использования экспертных методов для получения оценок.

The article includes analysis of possibility of usage of the main methods of an assessment of quality of production which are applied in a qualimetry for an assessment of quality of teachers' activity in high schools. Distinctive features of these methods and extent of use of expert methods for receiving estimates are revealed.

Ключевые слова: квалиметрия, методы оценки, профессорско-преподавательский состав, компетенции, квалификация, компетентностная модель преподавателя, экспертные методы.

Key words: qualimetry, assessment methods, faculty, competences, qualification, competence-based model of the teacher, expert methods.

Качество образования существенно влияет на темпы социально-экономического развития страны, поэтому не удивительно, что образование является одним из приоритетных объектов государственного или международного регулирования. В нашей стране деятельность в сфере образования регламентируется Федеральным законом «Об образовании в Российской Федерации», основой международного регулирования в данной области стала Болонская декларация.

Качество образования определяется множеством факторов, к которым относятся: особенности системы национального управления образованием, доля внутреннего валового продукта страны на образование, содержание образовательных программ, кадровый (преподавательский) состав, материально-техническая база, формы и методы обучения и воспитания и т.д. Особая роль при этом отводится преподавательскому составу, ответственному за непосредственную передачу от поколения к поколению сформированных человечеством знаний и про-

фессиональных компетенций. Поэтому оценка качества деятельности преподавательского состава, в том числе в сфере высшего профессионального образования, является актуальной. В данной статье проводится анализ возможности применения методов оценки качества продукции для оценки качества деятельности персонала на примере профессорско-преподавательского состава вузов [3].

Теоретические основы оценки качества продукции были разработаны в рамках квалиметрии [1]. Глубокая проработка теоретических положений в данной сфере в последующем позволила унифицировать методические подходы к оценке качества продукции. В действие было введено ряд стандартов, таких как ГОСТ 22732-77 «Методы оценки уровня качества промышленной продукции. Основные положения», ГОСТ 23554.0-79 «Система управления качеством продукции. Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Основные положения» и др. В 1990-е годы эти стан-

дарты были отменены. Однако отмена стандартов была обусловлена не тем, что требовалась коррекция методов оценки качества продукции, причина заключалась в отказе от инструментов директивной экономики в пользу рыночных способов ведения хозяйства.

Основными методами оценки качества продукции являются дифференциальный и комплексный, на основе которых разрабатываются вариации смешанного метода [6].

Дифференциальный метод предполагает вычисление значений относительных показателей качества q_i по формуле

$$q_i = \frac{P_i}{P_{i0}}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где P_i – значение i -го показателя качества оцениваемой продукции;

P_{i0} – значение i -го базового показателя;

n – количество показателей качества продукции.

Формула (1) используется в случае, если увеличение значения показателя качества приводит к улучшению качества объекта (примерами таких показателей могут быть производительность, мощность, быстродействие и т.д.). Если увеличение значения показателя качества приводит к снижению качества объекта (трудозатраты, ресурсоемкость и т.д.), тогда значения относительных показателей качества определяются как отношение значения i -го базового показателя P_{i0} к значению i -го показателя качества оцениваемой продукции P_i .

Дифференциальный метод позволяет определить уровень качества в следующей градации:

- качество превосходит базовый (требуемый) уровень;

- качество соответствует базовому (требуемому) уровню;

- качество уступает базовому (требуемому) уровню.

При этом базовый (требуемый) уровень может быть определен на мировом, национальном, региональном уровне или на уровне организации.

Решение об уровне качества принимается исходя из следующих данных:

- уровень качества оцениваемых объектов превосходит базовый уровень, если все значения относительных показателей больше единицы или часть относительных показателей больше единицы, часть равна единице;

- уровень качества оцениваемых объектов соответствует базовому уровню, если все значения относительных показателей равны единице;

- уровень качества оцениваемых объектов уступает базовому уровню, если все значения относительных показателей меньше единицы.

В случаях, когда часть значений относительных показателей больше или равна единице, а часть – меньше единицы, однозначный вывод об уровне качества не делается, для оценки качества применяются иные методы, например, комплексный или смешанный метод.

Для определения уровня качества продукции дифференциальный метод считается одним из самых простых, поскольку значения и базовых, и оцениваемых показателей качества известны.

Использование дифференциального метода для оценки качества деятельности персонала требует решения следующих задач:

1. установления базовых значений показателей качества;

2. определения значений показателей качества оцениваемых сотрудников.

Значения базовых показателей качества оцениваемых сотрудников могут быть установлены следующими способами:

- а) документами, регламентирующими деятельность персонала в данной сфере (однако системная информация о требуемых значениях большого количества показателей качества преподавателей вузов в настоящее время не нормирована);

- а) осреднением i -ых значений показателей качества всех преподавателей вузов определенной квалификации;

- б) директивным установлением требуемых значений показателей качества в вузе;

- в) на основе экспертной оценки.

Самый простой путь – установить требуемые значения показателей качества директивно. По мере проведения периодической процедуры оценки качества деятельности преподавателей вуза требуемые значения могут быть скорректированы либо на основе данных статистики о средних значениях показателей качества преподавателей по категориям, либо с учетом мнений экспертов.

Если первая задача (установление базовых значений показателей качества) может быть решена относительно просто, например, директивно, то вторая – определение значений показателей качества оцениваемых сотрудников – требует привлечения экспертных методов. Более подробная информация об экспертных методах представлена ниже в характеристике комплексного метода. К основным недостаткам экспертных методов относят их трудоемкость и субъективность. Тем не менее экспертные методы широко применяются в случаях высокой сложности формализации постановки задачи и большой неопределенности.

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Применение дифференциального метода для оценки качества деятельности преподавателей вуза связано с проявлением следующих недостатков:

■ необходимо использовать экспертный метод для оценки ряда значений показателей качества;

■ однозначный вывод об уровне качества деятельности преподавателя существенно затрудняется при увеличении количества показателей качества.

Тем не менее, дифференциальный метод может быть использован для оценки уровня качества деятельности или квалификации преподавателя. Так, если вместо единичных показателей качества использовать групповые (учебная деятельность, воспитательная деятельность, методическая деятельность, научная деятельность), то метод позволит либо выявить соответствующий уровень квалификации в целом, или поможет определить показатели, требования по которым не выполняются. Данные, полученные с помощью дифференциального метода, могут быть основой для построения наглядных диаграмм – «паутины качества» [9], графически демонстрирующих степень выполнения показателей качества.

Комплексный метод применяется, если качество объекта характеризуется одним обобщенным показателем, являющимся функцией от единичных (групповых или комплексных) показателей.

Обобщенный показатель может быть выражен главным, интегральным или средним взвешенным показателем качества продукции.

Главный показатель характеризует основное назначение продукции. Например, главный показатель качества автобуса, определяемый его годовой производительностью в человеко-километрах, прямо пропорционален средней продолжительности нахождения автобуса в рейсе, эксплуатационной скорости автобуса, номинальной вместимости автобуса [5].

Для оценки качества деятельности преподавателя может быть использован главный показатель, характеризующий выполнение основного предназначения преподавателя при выполнении должностных обязанностей – обучение и воспитание студентов при проведении занятий по определенной дисциплине (дисциплинам).

В первом приближении главный показатель преподавателя вуза W_v может быть представлен в академических часах и определяться годовой аудиторной нагрузкой с возможным учетом количества преподаваемых дисциплин, видов проводимых занятий (консультаций, практических занятий, лекций и др.)

$$W_v = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n t_{ji}, \quad (2)$$

где t – количество аудиторных часов по определенным видам занятий;

$i=1, 2, \dots, n$ – индекс, характеризующий вид занятия, например, $i=1$ соответствует проведению практических, групповых, семинарских занятий, проведению зачетов и экзаменов, $i=2$ соответствует проведению лабораторных занятий, $i=3$ соответствует проведению лекционных занятий;

$j=1, 2, \dots, m$ – индекс, характеризующий количество преподаваемых дисциплин.

Главный показатель в часах характеризует объем учебной нагрузки, но не интенсивность учебного процесса: количество студентов на занятиях существенно варьируется. Лекционный поток может состоять из одной или нескольких групп; практическое занятие в учебной группе проводит один преподаватель, лабораторное – два преподавателя и т.д.

Главный показатель преподавателя вуза W_{uc} , выраженный в человеко-часах, прямо пропорционален годовой аудиторной нагрузке и среднему количеству студентов в учебной группе

$$W_{uc} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n t_{ji} K_{cji}, \quad (3)$$

где K_c – количество студентов в учебной группе (лекционном потоке).

Подход с использованием выражений (2) и (3) позволит ответить на вопрос, какой объем учебной работы выполнил преподаватель, но не ответит на вопрос, как выполнен этот объем.

Для учета качества выполненной учебной работы главный показатель $W_{чск}$ необходимо дополнить характеристикой качества сформированных знаний, умений, навыков, компетенций, который в грубом приближении может быть охарактеризован средним баллом студентов по дисциплине

$$W_{чск} = \sum_{j=1}^m a_j \sum_{i=1}^n t_{ji} K_{cji}, \quad (4)$$

где a_j – средний балл за экзамен (зачет) по j -той дисциплине.

Главный показатель, определенный выражениями (2)-(4), позволяет оценить деятельность преподавателя на основе количественных данных, подлежащих в вузе обязательному учету, поэтому вычислить значение главного показателя только на основе данных об аудиторной нагрузке, среднем балле по дисциплине не представляет труда.

Перспективной задачей является поиск таких количественных характеристик, которые

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

могли бы, с одной стороны, характеризовать качество методической, воспитательной, научной деятельности преподавателя, с другой стороны, позволили бы осуществить переход от среднего балла за дисциплину к средней оценке сформированных у студентов компетенций (навыков, умений, знаний).

Тогда появилась бы возможность количественно характеризовать деятельность преподавателя на основе главного показателя.

Таким образом, в настоящее время главный показатель позволяет использовать в вычислениях объективные количественные данные, минимизировать экспертные оценки и субъективный фактор.

Интегральный показатель I позволяет определить эффективность эксплуатации или потребления продукции на основе выражения

$$I = \frac{\Pi}{З}, \quad (5)$$

где Π – суммарный полезный годовой эффект от эксплуатации или потребления продукции, выраженный в натуральных единицах (метр, килограмм и т.д.);

$З$ – суммарные капитальные (единовременные) затраты на создание и эксплуатацию продукции, руб.

Для оценки качества деятельности преподавателя при вычислении интегрального показателя I полезный годовой эффект Π пропорционален количеству обученных студентов и средней оценке сформированных у них компетенций, навыков, умений, знаний (результатов обучения) за учебный год. Оценка результатов обучения студентов может быть получена на основе экспертных методов.

В затратах на деятельность преподавателя $З$ выделяют прямые и косвенные составляющие. Прямые затраты легко подлежат учету и включают выплаты на заработную плату, премии, средства на повышение квалификации и т.д. Косвенные затраты являются функцией от стоимости используемого преподавателем учебно-лабораторного и научного оборудования, библиотечного фонда и иных образовательных ресурсов, используемых преподавателем для формирования компетенций (навыков, умений, знаний) у обучаемых.

Вычисление интегрального показателя позволяет осуществить строгое ранжирование преподавателей в рамках каждого квалификационного уровня и сформулировать соответствующие управленческие мероприятия.

Однако применение интегрального показателя связано со следующими недостатками:

а) перенос акцентов от оценки самого преподавателя на оценку сформированных у обучаемых студентов компетенций, навыков, умений, знаний на основе экспертных методов;

б) сложность определения адекватной оценки косвенных затрат на деятельность преподавателя.

Средний взвешенный показатель применяют в случаях, когда невозможно определить главный показатель и установить зависимость его от исходных показателей качества продукции.

Средневзвешенный показатель может быть выражен средним арифметическим, геометрическим или гармоническим показателем.

Так, средний взвешенный арифметический показатель качества продукции Q вычисляют по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^n m_{i(Q)} P_i, \quad (6)$$

где $m_{i(Q)}$ – параметр весомости i -го показателя, входящего в обобщенный показатель Q .

Параметр весомости может быть размерным и безразмерным. В случае, если выполняется условие

$$\sum_{i=1}^n m_i = 1,$$

параметры весомости называются коэффициентами весомости.

Расчет обобщенного показателя качества деятельности преподавателя на основе средневзвешенного показателя предоставляет широкую характеристику деятельности сотрудника, однако требует решения ряда нетривиальных задач:

- 1) формирование экспертных комиссий, обучение экспертов;
- 2) формирование номенклатуры оцениваемых показателей качества [2, 5];
- 3) обоснование способа расчета параметров весомости;
- 4) оценку отдельных показателей качества.

Известные аналитические методы расчета параметров весомости (метод стоимостных регрессионных зависимостей, метод эквивалентных соотношений, метод предельных и номинальных значений [6]) не могут применяться, поскольку объективные количественные исходные данные для их использования отсутствуют. Для определения коэффициентов весомости применяются экспертные методы, основными разновидностями которого являются балльный метод (метод прямой расстановки), метод оценки ранжированием, метод попарного сопоставления (метод предпочтений), социологический метод.

Оценка отдельных показателей качества де-

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

тельности преподавателей на основе экспертных методов требует существенных временных затрат и привлечения ряда специалистов. Например, для оценки педагогического мастерства члены экспертной комиссии должны оценить ряд параметров в течение контрольного занятия, проводимого преподавателем в учебной группе.

Смешанный метод оценки качества любого объекта предполагает использование одновременно и комплексного, и дифференциального методов. Такой метод применим для объектов, имеющих обширную номенклатуру качества, когда с помощью дифференциального метода практически невозможно сделать конкретный вывод, а использование только одного комплексного метода не дает возможности объективно учесть все значимые свойства оцениваемого объекта, то есть применим и для оценки деятельности преподавателя вуза [4].

Таким образом, дифференциальный и все разновидности комплексного метода могут использоваться для оценки качества деятельности преподавателя вуза. Различия проявляются лишь в целевой направленности используемых методов и в удельном весе экспертных методов в процедуре оценки.

Дифференциальный метод позволяет определить уровень качества деятельности преподавателей вуза, допускает применение нормированных или директивно установленных значений базовых показателей качества и требует привлечения экспертных методов для определения значений оцениваемых показателей качества сотрудников.

Комплексный метод на основе главного показателя характеризует объем выполненных преподавателем работ (акцент делается на результат деятельности преподавателя) и может быть определен на основе объективных количественных характеристик. Привлечение экспертов при использовании данного метода может быть минимальным и использовано для определения уточняющих коэффициентов, характеризующих результаты методической, научной и воспитательной деятельности преподавателя.

Комплексный метод на основе интегрального показателя ориентирован на определение эффективности деятельности преподавателя, частично использует количественные характеристики деятельности преподавателя, частично –

экспертные методы для оценки результатов обучения студентов (сформированных компетенций, навыков, умений, знаний) и косвенных затрат на деятельность преподавателя.

Комплексный метод на основе средневзвешенного показателя позволяет оценить качество деятельности преподавателя как процесса. Предполагает широкое применение экспертного метода для формирования номенклатуры показателей качества, оценки коэффициентов весомости, оценки отдельных показателей качества.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: формирование зависимости для главного показателя на основе количественных характеристик; сравнение результатов оценки с данными, полученными на основе средневзвешенного показателя с применением экспертных методов или смешанного метода; разработка приемов, снижающих субъективность экспертных методов.

Литература

1. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. Экспертные методы в оценке качества товаров. М.: Экономика, 1974. 151 с.
2. Андрух О.Н., Сидорова А.С. Компетентностная модель преподавателя вуза // Известия Института инженерной физики, 2014. №3(33). С. 66-70.
3. Андрух О.Н., Сидорова А.С., Чадунели М.К. Объекты технического регулирования // Известия Института инженерной физики, 2014. №2(32). С. 81-84.
4. Андрух О.Н., Сидорова А.С. Оценка качества деятельности преподавателей на основе смешанного квалиметрического метода // Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции «Информационные и коммуникационные технологии в образовании, науке и производстве». Протвино, 2013. С. 33-36.
5. Андрух О.Н., Сидорова А.С. Формирование номенклатуры показателей качества преподавателей вузов на основе системного подхода // Известия МГТУ «МАМИ», 2013. № 1(15), Т.6. С. 141-145.
6. ГОСТ 22732-77. Методы оценки уровня качества промышленной продукции. Основные положения.
7. ГОСТ 23554.0-79. Система управления качеством продукции. Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Основные положения.
8. ГОСТ Р 52113-2003. Услуги населению. Номенклатура показателей качества.
9. Федюкин В.К. Квалиметрия. Измерение качества промышленной продукции: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2009. 320 с.



Oleg N. Andruh. Cand.Tech.Sci., associate professor. General director Deputy. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Alexey I. Alatortsev. Cand.Tech.Sci., senior scientist. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Yuriy N. Artamonov. Cand.Tech.Sci., lead scientist. Federal state scientific institution «Gosmetodcentr». Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Igor V. Azhinenko. Candidate of physico-mathematical sciences, senior scientist. Institute of high energy physics. Moscow reg., Protvino, Pobedy st., 1.

Kirill A. Batenkov. Cand.Tech.Sci., Academy of Federal Protective Service of the Russian Federation. Orel, Priborostroitelnaya st., 35.

Sergey I. Bityukov. PhD, lead scientist. Institute of high energy physics. Moscow reg., Protvino, Pobedy st., 1.

Igor A. Bugakov. Dr.Sci.Tech., professor. Honoured devisor of Russia. Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Vladimir P. Karulin. Honored Worker of RF Higher school. Dr.Sci.Tech., professor. Lead scientist. Federal state scientific institution «Gosmetodcentr». Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Oleg V. Kemaev. Cand.Tech.Sci., senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Ilfat V. Khabibullin. Chief expert. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Viktor V. Kharchenko. Cand.Tech.Sci., associate professor. Lecturer. Military Academy of Air Defence Force in the name of N.E. Zhukovskiy and Y.A. Gagarin. Orel, Staryukh Bolshevnikov st., 54a.

Eugeny P. Khizhniak. PhD. Lead scientist. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Larisa N. Khizhniak. Candidate of medical sciences, senior scientist. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Sergey A. Klimov. Cand.Tech.Sci., associate professor. Military Academy of Air Defence Force in the name of A.M. Vasilevskiy. Smolensk, Kotovskogo st., 2.

Igor A. Kochetov. Candidate of military science. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Alexey A. Korobkov. Cand.Tech.Sci., associate professor. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Valentina V. Kotova. Jr. scientist. Branch of the Military academy of the Strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Maxim V. Kulik. Scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Nikolay V. Krasnikov. PhD, lead scientist. Institute of nuclear research. Moscow reg., Troitsk, Fizicheskaya st., 27.

Roman R. Marchenkov. Academy of Federal security guard service of the Russian Federation. Orel, Priborostroitelnaya st., 35.

Eugeny I. Maevskiy. Dr.Sci.Tech., professor. Vice-director for research. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Dmitriy G. Mitrofanov. Dr.Sci.Tech., professor. Military Academy of Air Defence Force in the name of A.M. Vasilevskiy. Smolensk, Kotovskogo st., 2.

Danila P. Motasov. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Alexander Y. Popov. Cand.Tech.Sci., associate professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Anton V. Podzorov. Cand.Tech.Sci., jr. scientist. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Alexander D. Pozdniakov. Dr.Sci.Tech, professor. Vladimir State University in the name of Alexander and Nikolay Stoletovs. Vladimir, Gorky st., 87.

Victor V. Red'kin. Cand.Tech.Sci., Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Alexander A. Rufov. Postgraduate student. Vladimir State University in the name of Alexander and Nikolay Stoletovs. Vladimir, Gorky st., 87.

Igor A. Sheremet. Dr.Sci.Tech, professor. Military-Industrial Commission of Russia. Moscow.

Anna S. Sidorova. Jr. scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Boris P. Smirnov. Dr.Sci.Tech. General director. Research and Production Center for Information regional systems. Moscow reg., Malakhovka, Shosseynaya st., 1a.

Dmitriy V. Smirnov. Dr.Sci.Tech., associate professor. General director – First Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Alexander Singovskiy. PhD. University of Minnesota.

Vera V. Smirnova. PhD, senior scientist. Institute of high energy physics. Moscow reg., Protvino, Pobedy st., 1.

Sergey V. Smurov. Dr.Sci.Tech., professor. Deputy director general. General designer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Artur S. Vartanian. Military Academy of Air Defence Force in the name of N.E. Zhukovskiy and Y.A. Gagarin. Orel, Staryukh Bolshevnikov st., 54a.

Artem Y. Viatkin. Strategic Missile Forces. Moscow reg., Odintsovo-10.

**МОУ «ИИФ»:
ОСНОВНЫЕ ИТОГИ 2014 ГОДА
«ЕСТЬ ЧЕМ ГОРДИТЬСЯ,
ЕСТЬ К ЧЕМУ СТРЕМИТЬСЯ»**

Ушедший год принес нам новые достижения, успехи, радости от достигнутых побед. МОУ «ИИФ» участвовал в крупных международных и российских выставках, презентациях. С рабочими визитами приезжали руководители силовых структур, министерств и ведомств. С удовлетворением можно сказать, что все высокие гости, коллеги, партнеры и заказчики отметили, что в Институте работают высококвалифицированные специалисты, талантливые ученые, что в нем создана мощная научно-исследовательская,



производственная база и есть все условия для того, чтобы успешно разрабатывать и внедрять инновационные технологии.

В сентябре Институт открыл метрологический комплекс поверок и калибровок средств астрономо-геодезического обеспечения, который является хранителем эталона значений азимута РФ. Комплекс был построен за счет собственных средств Института, а оборудование разработано по заказу Министерства обороны РФ.

Высокую оценку и одобрение со стороны Министерства обороны, Военно-промышленной комиссии, МЧС, ВМФ, ВДВ Российской Федерации получило разработанное учеными Института снаряжение и медицинское оборудование для Арктики, для работы медиков и военнослужащих в условиях низких температур. На сегодняшний день проходят испытания этих инноваций с целью их дальнейшего внедрения в работу силовых структур России.

Институт был награжден Знаком Министра обороны «За заслуги в области развития

и внедрения инновационных технологий». За активное участие в выставочных проектах Министерства обороны РФ был удостоен диплома I степени. По итогам конкурса «Национальная безопасность» за разработку системы термообогрева водолазного снаряжения на основе токопроводящих лавсановых нитей Институт награжден дипломом и золотой медалью «Гарантия качества и безопасности».

Расширился спектр услуг, который оказывает Институт населению и организациям. Наряду с телефонией, Интернетом, системами теле-, видеонаблюдения, охранно-пожарных сигнализаций, сертификации программных комплексов, аттестации объектов информатизации, Институт начал предоставлять услуги спутникового контроля, а также IP-телевидения.

Большое внимание Институт уделяет подготовке специалистов с высшим профессиональным образованием, научных кадров. Пятилетие отметил в 2014 году Институт информационных технологий и управления, учрежденный МОУ «ИИФ».

Больших успехов в научно-исследовательской деятельности, учебе, спорте достигли студенты филиала Университета машиностроения (МАМИ) и Учебного центра «Интеграция» МАИ, работающих на базе Института. Все больше выпускников этих вузов, а также других вузов Подмоскovie и Москвы поступают учиться в аспирантуру нашего Института.

МОУ «ИИФ» и Совет молодых ученых выступили организаторами проведения в Серпухове финала программы «УМНИК». Победителями стали два серпуховича: Юрий Горбачев (МОУ «ИИФ») и Алексей Яценко (филиал ВА РВСН им. Петра Великого в г. Серпухове).

Нам есть чем гордиться, есть к чему стремиться, и мы с оптимизмом смотрим в будущее!



ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Для публикации принимаются статьи на русском языке. Рекомендуемый объем статьи – 0,2–0,4 п.л. (8000–16000 знаков).

Тексты должны быть представлены:

○ в электронном виде (Win Word 6.0 или 7.0).

Иллюстративный материал (сложные формулы, рисунки, фотографии и т.д.) кроме размещения в тексте обязательно должны предоставляться отдельными файлами!

○ на бумажном носителе формата А4.

Текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала (гарнитура «Times New Roman»), кегль 14.

Простые символы и формулы не набирать в математическом редакторе!

Напечатанный текст должен иметь поля: верхнее и левое – 2,5 см, правое и нижнее – 2 см.

Вверху первой страницы статьи размещаются:

○ рубрика журнала (см. Приложение 1);

○ УДК;

○ название статьи;

○ имя, отчество, фамилия автора (авторов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы.

Список литературы (Литература) размещается в конце статьи.

После литературы помещается:

○ список ключевых слов;

○ краткая аннотация (1–2 абзаца, но не более одного листа А4) на русском и английском языках.

Завершает рукопись полная информация об авторе (авторах):

○ ФИО;

○ ученая степень, ученое звание, должность и место работы с переводом на английский язык;

○ адрес места работы, контактные телефоны, электронный адрес (по желанию автора – домашний адрес и телефон).

Обращаем особое внимание на:

○ точность и правильность библиографического оформления списка литературы (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008);

○ выверенность статьи в компьютерном наборе;

○ полное соответствие файла на электронном носителе (диске, дискете) и бумажного варианта.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей, при этом с точки зрения научного содержания авторский вариант сохраняется.

Статьи, не принятые к публикации, не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается!

Приложение 1

РУБРИКАЦИЯ ЖУРНАЛА

«Известия Института инженерной физики»

Постоянные рубрики

- **Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы.**
- **Радиотехника и связь.**
- **Информатика, вычислительная техника и управление.**

Разовые рубрики

- **Техника специального назначения.**
- **Инновационные проекты.**
- **Техническое регулирование.**
- **Профессиональное образование.**
- **Искусственный интеллект и робототехника.**

В соответствии с Решением Межведомственной комиссии РФ по защите государственной тайны №69 от 26 февраля 2001 г., требованиями законов №5485-1 «О государственной тайне» от 21 июля 1993 г., №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации» от 27 июля 2006 г. статьи для публикации принимаются только при наличии экспертного заключения с разрешением на открытое опубликование.