К 20-летию НИЦ ЭТУ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Специальный выпуск

Санкт-Петербург
Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
2010

Ректорат и коллектив Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) поздравляют всех сотрудников ОАО «Научно-инженерный центр электротехнического университета» (НИЦ ЭТУ) с 20-летием со дня основания. Перешагнув 20-летний рубеж, предприятие успешно развивается и занимает передовые позиции на рынке информационных технологий.

«Научно-инженерный центр Ленинградского электротехнического института им. В. И. Ульянова (Ленина)» был создан в 1990 г. с целью сокращения сроков внедрения разработок средств автоматизации и новых информационных технологий в разработки военного и гражданского назначения на основе научной лаборатории ЛЭТИ. Учредителями НИЦ стали ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина) и Ленинградское областное правление ВНТОРЭС им. А. С. Попова.

Большой вклад в становление и развитие предприятия внес первый и бессменный на протяжении 18 лет директор НИЦ О. И. Корнилов. Под руководством и при личном участии главного конструктора НИЦ А. В. Экало сформированы стратегические направления научно-производственной деятельности предприятия и созданы коллективы разработчиков, позволившие НИЦ стать востребованным на рынке информационных технологий.

За два десятилетия НИЦ разработал и ввел в эксплуатацию целое поколение автоматизированных систем и комплексов сбора, обработки и анализа измерительной информации. Созданные на предприятии системы электронного декларирования товаров и транспортных средств внедрены на предприятиях ФТС России, а разработанные и внедренные подсистемы сервисного обслуживания и эксплуатации ГАС «Выборы» широко используются во всех регионах страны.

Основу научно-производственного коллектива предприятия составили научные сотрудники, преподаватели, аспиранты и студенты ведущих кафедр университета: МО ЭВМ, ВМ-1, ВТ и др., что свидетельствует о преемственности, передаче бесценного опыта новому поколению. НИЦ ЭТУ предоставляет возможность студентам и аспирантам участвовать в разработке современных автоматизированных систем и их программного и информационного обеспечения и получать практические навыки по своей специальности во время прохождения производственных, технологических практик и подготовки дипломных проектов, выпускных работ и диссертаций.

Современная производственно-технологическая база, квалифицированный и сплоченный коллектив, передовые технологии организации разработок и научных исследований – это залог достижения высоких показателей в работе. ОАО «НИЦ ЭТУ» является положительным примером продуктивного взаимодействия университета и научно-производственного предприятия.

Желаем вам огромных успехов во всех направлениях деятельности предприятия, здоровья, благополучия, большого личного счастья и надеемся на дальнейшее плодотворное творческое сотрудничество!

С уважением,
ректор Санкт-Петербургского государственного
электротехнического университета «ЛЭТИ»
им. В. И. Ульянова (Ленина), профессор
В. М. Кутузов

Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Ежемесячный журнал

10' 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Постников Е. В., Романцев В. В., Экало А. В. Научно-инженерный центр электротехнического университета. 20 лет на рынке информационных технологий..... *5*

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

Виноградов М. Н., Орешко Н. И. Оценивание сейсмического годографа при неизвестных временах тестовых испытаний..... *9*

Соколов И. С., Жукова Н. А., Балтрашевич В. Э. Графовая модель группового телеметрического сигнала со сменой кадра *12*

Васильев А. В., Витол А. Д., Жукова Н. А. Определение семантического состава группового телеметрического сигнала..... *18*

Князева Т. Н., Орешко Н. И. Очистка от шума и сбоев телеметрических параметров на основе вейвлет-технологии..... *24*

Миненков Д. В. Разработка блока цифровой обработки сигналов в системе дальней связи подвижных объектов на основе шумоподобных сигналов..... *30*

Бычков Ю. А., Щербаков С. В., Шумаков А. А. Существование и единственность решений уравнений динамики нелинейных электрических цепей с неравномерно распределенными нестационарными параметрами..... *36*

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Калишенко Е. Л., Королев Ю. А., Крестелев Д. В., Филиппов М. Ф. Автоматизированная система сборки и тестирования проектов для различных программно-аппаратных платформ *45*

Маевский С. В., Романов А. С. Разработка средств построения и использования иерархических мнемосхем для визуализации алгоритмов анализа характеристик динамических объектов..... *51*

Кирьянчиков В. А., Бочкарев И. В. Разработка библиотеки математических методов для программного средства поддержки мнемосхем *55*

Воронов Ю. В., Дмитриев Г. И., Законников Е. А., Мейев В. А. Программное обеспечение информационной системы мониторинга научного и образовательного потенциала учреждений Минобрнауки России с использованием Интернет-технологий *60*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Экало А. В., Опалева Э. А., Холод И. И., Лисс А. А. Современные информационные технологии создания корпоративной информационной системы на примере системы представления документов в электронном виде для внешнеэкономической деятельности..... *65*

Редакционный совет

Пузанков Д. В. (*председатель*)
Кутузов В. М. (*заместитель председателя*)
Мейев В. А. (*ответственный секретарь*)
Малышев В. Н. (*«Радиоэлектроника и телекоммуникации»*)
Соломонов А. В. (*«Физика твердого тела и электроника»*)
Герасимов И. В. (*«Информатика, управление и компьютерные технологии»*)
Путов В. В. (*«Автоматизация и управление»*)
Прокофьев Г. И. (*«Электротехника»*)
Филатов Ю. В. (*«Приборостроение и инфор-мационно-измерительные технологии»*)
Попечителев Е. П. (*«Биотехнические системы в медицине и экологии»*)
Степанов С. А. (*«Управление качеством, инновационный и антикризисный менеджмент»*)
Маркова О. Ю. (*«Гуманитарные науки»*)
Вендик О. Г. (*«История науки, образования и техники»*)
Лысенко Н. В.. (*«Современные технологии в образовании»*)

197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, 5
СПбГЭТУ "ЛЭТИ"
тел.: 234-02-23

Учредитель:

Государственное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный
электротехнический
университет "ЛЭТИ"
им. В. И. Ульянова (Ленина)»
197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, 5
Тел.: (812) 346-44-87
Факс: (812) 346-27-58

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС2 – 8390 от 04 декабря 2006 г.
выдано Управлением Федеральной
службы по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия по Северо-Западному федеральному округу

***

Редакторы
Э. К. Долгатов, Н. В. Лукина,
И. Г. Скачек
Комп. верстка:
Е. Н. Паздниковой,
М. В. Егоровой, А. А. Веселова

Подписано в печать 1.12.10 г.
Формат 6084 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура "Times New Roman".
Печ. л. 16,75
Тираж 300 экз. (1-й завод 1–110 экз.)
Заказ 55
Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ"
197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, 5
Тел.: (812) 346-45-23
Факс: (812) 346-28-56

Постников Е. В. Моделирование полигонных испытаний перспективных образцов военной техники *69*

Беляев С. А., Павловский М. Г., Романенко С. А. Особенности реализации систем электронного документооборота для испытательных полигонов *75*

Постников Е. В., Романенко Д. А., Беляев С. А., Павловский М. Г. Построение систем поддержки принятия решений в процессах управления эксплуатацией технических комплексов *79*

Романенко С. А., Беляев С. А., Завалишин А. А. Мониторинг и комплексная оценка технического состояния информационной системы на основе инцидентной модели *83*

Васильев А. В., Дерипаска А. О., Жукова Н. А. Применение методов распознавания образов в задаче контроля состояния сложных технических объектов *88*

Маркелов О. А., Смирнов Б. И. Алгоритм построения моделей логистической регрессии при малом объеме данных *94*

Шевцов И. В. Разработка модели движения газа в газопроводе с учетом волновых явлений *101*

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ

Романенко Ю. В. Построение автоматизированной системы комплексной подготовки и аттестации операторов сложных технических комплексов *108*

Романенко Ю. В., Экало А. В. Модель оценивания надежности оператора в системе "человек–машина" *112*

Остапченко Ю. Б., Шаговиков А. В., Шаповалов Е. Н. Алгоритм проектирования процесса формирования профессиональных качеств специалистов по эксплуатации сложных систем *118*

Балтрашевич В. Э., Онкин С. А. Инструментальная АОС на базе экспертной системы для анализа и обработки телеметрической информации с неизвестными характеристиками *122*

Сведения об авторах *128*

Правила представления рукописей авторами *132*

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 45821 ПО ОБЪЕДИНЕННОМУ КАТАЛОГУ "ПРЕССА РОССИИ", ТОМ 1 "ГАЗЕТЫ И ЖУРНАЛЫ"

Подписка производится в любом почтовом отделении России

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (решение Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 19 февраля 2010 года № 6/6)

УДК 004

Е. В. Постников, В. В. Романцев, А. В. Экало

НАУЧНО-ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. 20 ЛЕТ НА РЫНКЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассматриваются основные этапы становления ОАО «НИЦ ЭТУ». Приводятся направления деятельности предприятия на рынке информационных технологий. Рассматривается участие в государственных программах, описывается взаимодействие и связь с СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в направлениях проведения научных исследований и подготовки специалистов.

Информационные технологии, программное обеспечение, подготовка специалистов

Вторая половина прошлого столетия характеризовалась ускоренным развитием высокоэффективной гражданской и военной техники и технологий. Это было связано с созданием высокопроизводительных средств вычислительной техники, средств автоматизации испытаний сложной техники и интеллектуальных информационных технологий сбора и обработки измерительной информации. В этот период, в конце 60-х гг., в Ленинградском электротехническом институте (ЛЭТИ) под руководством проректора В. И. Тимохина была создана научная лаборатория, ориентированная на решение задач обработки, идентификации и распознавания сигналов в различных прикладных областях. Одними из первых сотрудников лаборатории были А. В. Экало (в настоящее время главный конструктор ОАО «НИЦ ЭТУ»), В. В. Романцев (заместитель генерального директора), Е. В. Постников (заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе), В. А. Зайцев (до 2000 г. генеральный директор ОАО «НПО “Персей”»), В. В. Геппенер (ведущий научный сотрудник). Разработанные в 70-х гг. А. В. Экало и другими сотрудниками лаборатории алгоритмы и программные комплексы динамической фильтрации и множественной идентификации динамических объектов были впервые испытаны в 1974 г. на 4-м Государственном центральном межвидовом полигоне (4 ГЦМП). С тех пор между научной лабораторией ЛЭТИ и полигонами и космодромами СССР и России установились прочные производственные и творческие связи, которые продолжают расширяться и в настоящее время.

А. В. Экало

В 1990 г. с целью сокращения сроков внедрения разработок новых информационных технологий и средств автоматизации в военную технику полигонов по инициативе и при непосредственном участии А. В. Экало на основе научной лаборатории ЛЭТИ был создан «Научно-инженерный центр Ленинградского электротехнического института им. В. И. Ульянова (Ленина)» (далее НИЦ), прародитель нынешнего ОАО «НИЦ СПб ЭТУ». Учредителями НИЦ стали ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина) и Ленинградское областное правление ВНТОРЭС им.

И. О. Корнилов

А. С. Попова. Первым и бессменным директором (до 2008 г.) НИЦ был О. И. Корнилов, внесший большой вклад в становление и развитие предприятия. Первыми инженерами НИЦ из числа выпускников ЛЭТИ были Д. В. Тихонов и С. Б. Мездрогин, в настоящее время заместители начальника департамента разработки. Основу научно-производственного коллектива предприятия составили научные сотрудники, преподаватели, аспиранты кафедр МОЭВМ, ВМ-1, ВТ ЛЭТИ, военные специалисты, прошедшие службу на полигонах, космодромах и в НИИ. Это позволило создать уникальный коллектив, способный решать важные задачи при разработке, производстве и поставке автоматизированных информационно-вычислительных систем гражданского назначения, а также систем военного применения для автоматизации полигонных испытаний перспективных образцов ракетно-космической техники.

В 1995 г. НИЦ был реорганизован в Государственное предприятие «Научно-инженерный центр Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета».

В 2004 г. в соответствии с Постановлением Правительства РФ НИЦ был реорганизован в форме преобразования в открытое акционерное общество «Научно-инженерный центр электротехнического университета» (ОАО «НИЦ ЭТУ»).

С 2010 г. ОАО «НИЦ ЭТУ» вошло в состав ОАО «Научно-производственная корпорация “Системы прецизионного приборостроения”» – структуры Роскосмоса.

За 20 лет с момента основания предприятие заняло передовые позиции на рынке информационных технологий, являясь системным интегратором и разработчиком информационного и программного обеспечения вычислительных комплексов и автоматизированных систем обработки данных. Также НИЦ является одним из ведущих предприятий отрасли по разработке и сервисному обслуживанию информационных систем для региональных органов государственного управления и оборонно-промышленного комплекса.

Основными направлениями деятельности НИЦ являются следующие:

- проектирование, разработка, реинжиниринг, мониторинг и сервисное обслуживание информационных систем;
- разработка автоматизированных систем управления процессами эксплуатации вооружений и военной техники и систем гражданского назначения;
- разработка средств автоматического сбора и обработки измерительной информации;
- создание обучающих систем и программных тренажеров;
- автоматизация управления технологическими процессами;
- автоматизация работы таможенных органов и участников внешнеэкономической деятельности;
- проектирование и разработка автоматизированных систем в защищенном исполнении;
- разработка систем планирования, документооборота и поддержки принятия управленческих решений;
- разработка интеллектуальных транспортных систем на основе ГЛОНАСС/GPS;

• разработка систем видеонаблюдения и анализа изображений.

НИЦ разрабатывает, производит, поставляет и осуществляет авторский надзор различной продукции военного назначения от программных средств и комплексов обработки траекторной измерительной информации до автоматизированных систем и аппаратно-программных комплексов планирования, управления, сбора, обработки и анализа измерительной информации при проведении испытаний и эксплуатации образцов военной техники, включая учебно-тренировочные средства и тренажеры для подготовки личного состава.

В области гражданского применения НИЦ является разработчиком:

• средств электронного декларирования, внедренных в настоящее время во всех региональных таможенных управлениях РФ;

• продукта «Декларант ЭДТиТС», используемого в настоящее время подавляющим большинством участников внешнеэкономической деятельности для представления сведений таможенным органам в электронной форме по сети Интернет;

• подсистем «Управление и контроль функционирования» и «Обеспечение эксплуатации и сервисного обслуживания», используемых во всех комплексах средств автоматизации территориальных избирательных комиссий и субъектов РФ в рамках Государственной автоматизированной системы «Выборы».

Основными заказчиками НИЦ являются:

Министерство экономического развития РФ;

Министерство обороны РФ;

Министерство промышленности и торговли РФ;

Федеральная таможенная служба России;

Центральная избирательная комиссия РФ;

Счетная палата Российской Федерации;

предприятия Федерального космического агентства;

предприятия оборонного комплекса;

правительства Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) проводятся в рамках государственных программ:

Государственная программа вооружения на 2005–2015 гг.;

ФЦП «Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации на 2007–2010 гг. и на период до 2015 г.»;

ФЦП «Концепция развития Государственной автоматизированной системы Российской Федерации “Выборы” до 2012 г.»;

ФЦП «Глобальная навигационная система»;

Программа «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008–2015 гг.;

ФЦП «Промышленная утилизация вооружения и военной техники (2005–2010 гг.)»;

ФЦП «Национальная технологическая база».

География внедрения разработок НИЦ – от полярного круга до степей космодрома Байконур, от Балтики до Тихого океана.

В последние годы НИЦ разрабатывает и внедряет комплексные решения по модернизации полигонных измерительных комплексов, обеспечивающих испытания объектов ракетно-космической техники.

Высокое качество продукции НИЦ основано на современном научно-техническом уровне проводимых исследований, использовании передовых технологий разработки программных продуктов, высокой профессиональной квалификации коллектива, а также работой Представительства заказчика, аккредитованного на предприятии (начальники: А. А. Коноплев – в настоящее время заместитель генерального директора по экономике и управлению персоналом; Г. А. Тихов – в настоящее время генеральный директор ОАО «НИЦ СПб ЭТУ»; А. В. Чунихин; С. А. Зотин; И. С. Кириллов).

На предприятии более 10 лет внедрена система менеджмента качества, получены сертификаты соответствия системы менеджмента качества требованиям стандартов ГОСТ Р ИСО 9001–2008 и ГОСТ РВ 15.002–2003.

НИЦ, созданный на базе научной лаборатории ЛЭТИ, входит в число предприятий – членов Ассоциации технопарка СПбГЭТУ и участвует в развитии научной и учебной деятельности университета. Большинство ведущих специалистов НИЦ преподают на кафедрах МО ЭВМ, ВМ-1, ВТ, участвуют в разработке новых учебных программ подготовки специалистов, бакалавров и магистров.

Созданная научно-производственная база предприятия является местом проведения всех видов технологических и производственных практик студентов кафедр ФКТИ СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Каждый год более тридцати студентов выполняют дипломные проекты, выпускные бакалаврские работы и магистерские диссертации под руководством ведущих специалистов НИЦ.

НИЦ является соучредителем УНЦ «Программные средства корпоративных систем» (УНЦ «ПСКС») ФКТИ СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Ежегодно в УНЦ «ПСКС» по заказам НИЦ выполняются НИОКР, в которых принимают участие студенты, аспиранты, преподаватели и сотрудники кафедр ФКТИ.

НИЦ привлекает студентов, аспирантов, преподавателей и сотрудников СПбГЭТУ к НИОКР по развитию новых перспективных направлений в области информационных технологий, в том числе в разработке автоматизированных информационных систем, интеллектуальных методов обработки многомерных данных.

20 лет успешной работы НИЦ в бурно развивающейся сфере информационных технологий в период перестройки и двух экономических сотрясений России являются лучшим подтверждением правильности стратегии, гибкой технической и кадровой политики, проводимых руководством центра.

E. V. Postnikov, V. V. Romantcev, A. V. Ekalo

RESEARCH & ENGINEERING CENTER OF SAINT-PETERSBURG ELECTROTECHNICAL UNIVERSITY. 20 YEARS ON THE MARKET OF INFORMATION TECHNOLOGIES

The main stages of R&EC ETU are considered. Directions of activity of the enterprise in the market of an information technology are represented. The participation in public programs, describes the interaction and communications with R&EC ETU in the directions of research and training.

Information technology, software, training

УДК 550.34.06.013.22

М. Н. Виноградов, Н. И. Орешко

ОЦЕНИВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ГОДОГРАФА ПРИ НЕИЗВЕСТНЫХ ВРЕМЕНАХ ТЕСТОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Описан метод оценивания сейсмических скоростей по результатам тестовых испытаний, не требующий непосредственного измерения времени тестового испытания. Обработке подвергается сразу пара тестовых испытаний, проведенных в определенных местах, причем необязательно одновременно. Приводится точность оценок.

Анизотропная среда, время возбуждения волны, время прихода волны, сейсмический годограф, скорость сейсмической волны

В задачах определения местоположения источника сейсмических волн требуется знать скорость распространения сейсмических волн в грунте. Эта скорость зависит от многих факторов [1]: состава пород, температуры, плотности пород, пористости, водонасыщенности пор, частоты волны и др. Для экспериментального оценивания сейсмических скоростей можно провести на исследуемой местности ряд тестовых испытаний. Под тестовым испытанием подразумевается любое событие, возбуждающее в грунте (в источнике) сейсмические волны, достаточные по амплитуде для того, чтобы с учетом затухания их можно было зарегистрировать сейсмическими датчиками (приемниками). Например, это может быть взрыв, полученный закладкой заряда в грунт на некоторую глубину. По результатам тестовых испытаний можно оценить сейсмические скорости и построить оценку так называемого сейсмического годографа для исследуемой местности, т. е. зависимости, связывающей время распространения волн от одной точки поверхности Земли к другой с расстоянием между этими двумя точками [2].

Оценить средние сейсмические скорости можно по формуле

$$c = \frac{S}{t - T}, \qquad (1)$$

где c – средняя скорость распространения сейсмических волн от источника до приемника; S – расстояние от источника до приемника; t – время прихода волны к приемнику; T – время возбуждения сейсмических волн в источнике. В данной статье описан метод оценивания сейсмических скоростей, не требующий непосредственного измерения времени T тестового испытания.

Таким образом, к исходным данным задачи оценивания сейсмического годографа относятся: координаты приемников, координаты источников сейсмических волн и времена t прихода волн к приемникам, оцененные по зарегистрированным сигналам.

В случае изотропной среды, в которой скорости сейсмических волн одинаковы между любыми парами точек, достаточно провести одно тестовое испытание с двумя приемниками, расположенными в произвольных точках. В этом случае задача сводится к решению системы из двух уравнений вида (1) с двумя неизвестными c и T. Для получения лучшей оценки можно решать избыточную систему, используя более двух приемников, расположенных в произвольных точках.

В анизотропной среде, в которой скорости между каждой парой *источник-приемник* различны, можно сократить количество неизвестных величин. Для этого следует провести 2 тестовых испытания (не требуется, чтобы они были проведены одновременно) с тремя приемниками и с определенным расположением источников и приемников. Два источника (И1, И2) должны располагаться на одной прямой с тремя приемниками (П1, П2, П3) (рис. 1).

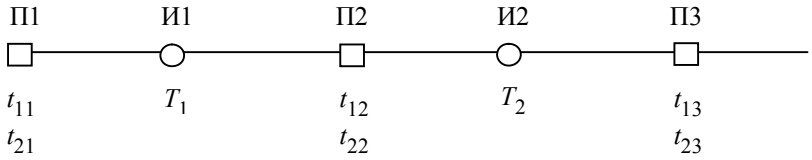


Рис. 1

Благодаря специальной геометрии времена распространения сейсмических волн на участках И2–П1 и И1–П3 можно оценить дважды, что позволяет записать следующие уравнения:

$$t_{21} - T_2 = (t_{22} - T_2) + (t_{12} - T_1) + (t_{11} - T_1), \tag{2}$$

$$t_{13} - T_1 = (t_{12} - T_1) + (t_{22} - T_2) + (t_{23} - T_2), \tag{3}$$

где t_{ij} – время прихода сейсмической волны от i-го источника к j-му приемнику; T_i – время возбуждения сейсмических волн в i-м источнике.

Преобразовав уравнения (2), (3), получим оценки времен возбуждения сейсмических волн в источниках И1 и И2 соответственно:

$$T_1 = \frac{1}{2}(t_{22} + t_{12} + t_{11} - t_{21}), \tag{4}$$

$$T_2 = \frac{1}{2}(t_{12} + t_{22} + t_{23} - t_{13}). \tag{5}$$

Далее по формуле (1) оцениваются непосредственно скорости c сейсмических волн.

Формулы (2)–(5) справедливы для идеального случая, когда приемники и источники в точности лежат на одной прямой. В реальности наблюдаются отклонения от прямой (рис. 2).

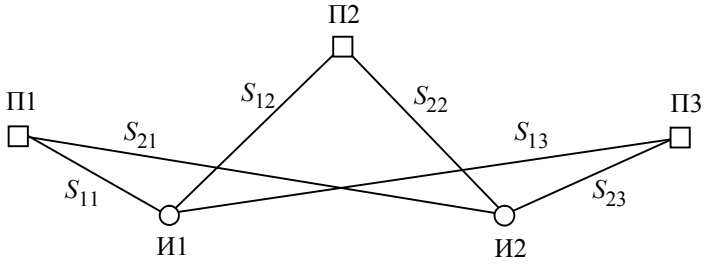


Рис. 2

С учетом этих отклонений формулы (2)–(5) примут следующий вид:

$$t_{21}-T_2=\left(t_{22}-T_2\right)+\left(t_{12}-T_1\right)+\left(t_{11}-T_1\right)-\delta_1, \tag{6}$$

$$t_{13}-T_1=\left(t_{12}-T_1\right)+\left(t_{22}-T_2\right)+\left(t_{23}-T_2\right)-\delta_2, \tag{7}$$

$$T_1=\frac{1}{2}\left(t_{22}+t_{12}+t_{11}-t_{21}\right)-\frac{\delta_1}{2},$$

$$T_2=\frac{1}{2}\left(t_{12}+t_{22}+t_{23}-t_{13}\right)-\frac{\delta_2}{2},$$

где δ_1, δ_2 – добавки, обусловленные отклонением источников и приемников от прямой. Отметим, что знак “–” перед δ_1 и δ_2 в формулах (6), (7) условный. Он лишь подчеркивает то, что, скорее всего (но не обязательно из-за возможного различия скоростей),

$$t_{21}-T_2<\left(t_{22}-T_2\right)+\left(t_{12}-T_1\right)+\left(t_{11}-T_1\right),$$

$$t_{13}-T_1<\left(t_{12}-T_1\right)+\left(t_{22}-T_2\right)+\left(t_{23}-T_2\right),$$

так как S_{21} и S_{13} – это кратчайшие расстояния, т. е.

$$S_{21}\le S_{11}+S_{12}+S_{22},$$

$$S_{13}\le S_{12}+S_{22}+S_{23}.$$

Значения δ_1 и δ_2 можно оценить по следующим формулам:

$$\hat{\delta}_1=\frac{\Delta S_1}{c}=\frac{\left(S_{11}+S_{12}+S_{22}\right)-S_{21}}{c},$$

$$\hat{\delta}_2=\frac{\Delta S_2}{c}=\frac{\left(S_{12}+S_{22}+S_{23}\right)-S_{13}}{c},$$

где S_{ij} – расстояние от i-го источника до j-го приемника. Например, при $\Delta S=10$ м и $\tilde{n}$ = 2000 м/с значение $\frac{\hat{\delta}}{2}$ = 2.5 мс.

Считая, что погрешности в оценках времен t_{ij} прихода волн независимы и имеют равную дисперсию σ_t^2, дисперсия оценки времени возбуждения сигнала

$$\sigma_T^2=\frac{1}{4}\left(\sigma_t^2+\sigma_t^2+\sigma_t^2+\sigma_t^2\right)=\sigma_t^2.$$

Вычислим дисперсию оценок сейсмических скоростей. Необходимо учесть, что в формуле (1) оценки значений t и T коррелируют друг с другом для скоростей c_{11}, c_{22}, c_{12} и c_{23}. Для этих скоростей дисперсии оценок

$$\sigma_{c_{11}}^2=\frac{16S_{11}^2}{\left(t_{11}-t_{22}-t_{12}+t_{21}\right)^4}\sigma_t^2,$$

$$\sigma_{c_{22}}^2=\frac{16S_{22}^2}{\left(t_{22}-t_{12}-t_{23}+t_{13}\right)^4}\sigma_t^2,$$

$$\sigma_{c_{12}}^2 = \frac{16S_{12}^2}{\left(t_{12} - t_{22} - t_{11} + t_{21}\right)^4}\sigma_t^2,$$

$$\sigma_{c_{23}}^2 = \frac{16S_{23}^2}{\left(t_{23} - t_{12} - t_{22} + t_{13}\right)^4}\sigma_t^2.$$

Дисперсия оценок сейсмических скоростей, для которых нет корреляции, а именно для c_{21}, c_{13}, а также для c_{1j}, c_{2j} при $j > 3$ (для любых приемников, которые не участвовали в оценивании времени возбуждения волны), составит

$$\sigma_{c_{ij}}^2 = \frac{2S_{ij}^2}{\left(t_{ij} - T_i\right)^4}\sigma_t^2.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Урупов А. К. Основы трехмерной сейсморазведки: Учеб. пособие для вузов. М.: ФГУП Изд-во “Нефть и газ” РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004.

2. Геологический словарь: В 2 т. Т. 1 /Под общ. ред. А. Н. Криштофовича. М.: Госгеолтехиздат, 1955.

M. N. Vinogradov, N. I. Oreshko

SEISMIC HODOGRAPH ESTIMATION BY EXPERIMENTS WITH UNKNOWN TIME

The seismic velocity estimation method based on two position-specific nonsynchronized in time experiments with unknown time is considered in this article. Estimates precision is included.

Anisotropic earth, wave excitation time, wave arrival time, seismic hodograph, seismic wave velocity

УДК 007:681.512.2

И. С. Соколов, Н. А. Жукова, В. Э. Балтрашевич

ГРАФОВАЯ МОДЕЛЬ ГРУППОВОГО ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА СО СМЕНОЙ КАДРА

Дана формальная постановка задачи определения структуры кадра группового телеметрического сигнала. Проводится анализ существующих решений. Рассматривается структурное описание объектов на основе нагруженного графа отношений. Приводится модификация нагруженного графа применительно к задаче описания группового телеметрического сигнала.

Сложная техническая система, групповой телеметрический сигнал, структура кадра, структурное описание объекта, графовая модель

Оценка функционирования сложной технической системы во время испытаний производится на основе анализа структурированного потока регистрируемых параметров. Данный информационный поток принято называть групповым телеметрическим сигналом (ГТС). Описание структуры ГТС позволяет на этапе обработки и анализа декомпозировать сложный информационный поток на отдельные составляющие, по которым оценивается функционирование сложной технической системы во время испытаний. Вследствие достаточно сложной организации ГТС наличие и корректность описания структуры ГТС определяют возможность проведения анализа и влияют на качество получаемых результатов.

Формальная постановка задачи. Обобщенная структурная схема ГТС имеет вид

$$< F_i,\ Sc,\ Z;\ \text{Синхро};\ V,\ J = N_{\text{ОК}} \cdot f_0 \cdot P_{\text{ИС}};\ G;\ P_{\text{ИС}},\ N_{\text{ОК}} =$$
$$= L_{\text{МК}},\ L_{\text{БК}};\ \Phi_{\text{ИС}}, \Phi_{\text{МК}},\ \Phi_{\text{БК}},\ \Phi_i >,$$

где $F_i, Sc,\ Z$ – множества частот параметров; Синхро; $V, J = N_{\text{ОК}} \cdot f_0 \cdot P_{\text{ИС}}$ – синхрогруппа, скорость передачи и информативность; G – схема коммутации; $P_{\text{ИС}}, N_{\text{ОК}} = L_{\text{МК}}, L_{\text{БК}}$ – длина слова, малого кадра, большого кадра; $\Phi_{\text{ИС}}, \Phi_{\text{МК}}, \Phi_{\text{БК}}, \Phi_i$ – фаза слова, кадров, параметров.

В свою очередь схема коммутации G представляет собой множества $\langle \text{Sup}\quad \text{Sub} \rangle$, где Sup – множество суперкоммутируемых параметров, определяемых как множество пар – индекса суперкоммутируемого параметра и кратности суперкоммутации; Sub – множество субкоммутируемых параметров, определяемых как множество пар – индекса субкоммутируемого параметра и глубины субкоммутации.

Анализ результатов испытаний начинается с декоммутации ГТС на набор отдельных параметров, по которым уже и оценивается работа сложной технической системы. Формально процесс декоммутации можно представить как отображение

$$D : \langle B_1 ... B_N \rangle \times S \to \langle P_1 ... P_K \rangle, \tag{1}$$

где $\langle B_1 ... B_N \rangle$ – двоичная последовательность данных (ГТС, записанный в цифровом виде); S – структура ГТС – набор информации, достаточный для распаковки ГТС на наборы измерений отдельных параметров $\langle P_1 ... P_K \rangle$. Структура ГТС состоит из следующих элементов: $S = \langle \text{Р}_{\text{ИС}}\quad L_{\text{МК}}\quad L_{\text{БК}}\quad \Phi_{\text{ИС}}\quad \Phi_{\text{МК}}\quad \Phi_{\text{БК}}\quad \Phi_i\quad G \rangle$, где $\text{Р}_{\text{ИС}}$ – длина информационного слова; $L_{\text{МК}}$ и $L_{\text{БК}}$ – длины малого и большого кадра; $\Phi_{\text{ИС}}$, $\Phi_{\text{МК}}$, $\Phi_{\text{БК}}$, Φ_i – фазы слова, малого и большого кадра и каждого параметра.

Как видно из выражения (1), неточность или искажения в S приводят к тому, что в результате декоммутации будет получен неверный набор измеренных параметров, что с большой вероятностью приведет на последующих стадиях к неверным результатам анализа работы сложной технической системы во время испытаний. Если S неизвестна, то дальнейший анализ невозможен. Пусть $\overline{S}$ – истинная структура ГТС. Будем говорить, что текущая структура S не соответствует по элементу $P_{\text{ИС}}$, $L_{\text{МК}}$ и т. д., если значения данного элемента между S и $\overline{S}$ различаются. В ряде случаев $\overline{S}$ может быть неизвестно.

Требуется найти такую структуру S, при которой $\rho(S)$ *– количество несоответствий структуры S истинной структуре* $\overline{S}$ *минимально.* Если S полностью соответствует истинной структуре $\overline{S}$, то $\rho(S) = 0$.

Если фазы $\Phi_{\text{ИС}}$, $\Phi_{\text{МК}}$, $\Phi_{\text{БК}}$, Φ_i равны нулю, говорят, что ГТС *выровненный*. В рамках данной статьи будем предполагать, что ГТС на стадии монтажа выровнен и фазы могут не рассматриваться в S.

В большинстве случаев на стадии монтажа и сборки ГТС из нескольких источников (с нескольких магнитных лент) уже определяется длина информационного слова $P_{\text{ИС}}$ и длина малого кадра $L_{\text{МК}}$, поэтому будем считать, что на этапе декоммутации они известны и могут быть исключены из рассмотрения в S. С другой стороны, длина большого кадра $L_{\text{БК}}$ может

также не рассматриваться, так как ее можно найти из схемы коммутации G и длины кадра. В результате описанных допущений будем считать, что S задается только схемой коммутации G: $S = G$.

Анализ существующих решений. Один из подходов к решению задачи контроля структуры ГТС заключается в нахождении наиболее близких по предопределенным критериям ГТС с известной структурой для ГТС с неизвестной структурой [1]. На основании сходства ГТС делается предположение о сходстве их структур.

В работах [1]–[3] предлагается использовать в качестве модели ГТС вектор коэффициентов для аппроксимации статистико-лингвистического распределения:

$$\Phi(r) = Cr^{-\gamma}\exp(dr),$$

где Φ – относительная частота слова с рангом r; d – параметр увеличения коэффициента частотно-рангового соотношения. Сам же вектор-образ ГТС представлен как

$$[C, \gamma, d]. \qquad (2)$$

Для анализа модели ГТС (2) могут быть применены такие методы Data Mining, как классификация или кластеризация.

Модель (2) не требует никакой информации о внутренней организации ГТС, кроме длины кадра, но платой за минимализм априорной информации является низкая точность идентификации ГТС. С другой стороны, если часть структурной информации известна или существует ряд предположений о структуре подключения датчиков в сложном динамическом объекте, то, используя данную информацию, можно повысить точность формирования типовых групп и идентификации ГТС. В качестве альтернативы авторы данной статьи предлагают использовать структурное описание ГТС.

Модель структурного описания объектов. Для структурного описания объекта в работах [4], [5] предлагается использовать нагруженный граф отношений (НГО) (Attributed Relational Graph – ARG). Данный граф определяется как кортеж из шести элементов: $G = \langle V \quad E \quad A_V \quad A_E \quad \alpha_V \quad \alpha_E \rangle$, где V и E – множества вершин и ребер НГО; A_V и A_E – множества атрибутов для вершин и ребер; α_V и α_E – функции ассоциации для каждой вершины и каждого ребра соответствующего атрибута.

Атрибуты для узла или ребра имеют вид $t(p_1, ..., p_{k_t})$, где t – тип атрибута, который задан как элемент конечного алфавита T. В свою очередь $(p_1, ..., p_{k_t})$ являются кортежем параметров, заданным также на конечных множествах $P_1, ..., P_{k_t}$ (тип каждого множества P_i зависит от предметной области). Количество атрибутов k_t и их последовательность в кортеже $(p_1, ..., p_{k_t})$ зависят от типа атрибута. Могут существовать особые типы атрибутов t^0, для которых k_t может быть равен 0, т. е. атрибут не имеет никаких параметров. Тип атрибута используется для задания различных типов узлов (или ребер), а параметры несут информацию, характеризующую узлы (или ребра) данного типа.

Модификация модели структурного описания объектов. Представленная модель была модифицирована для описания ГТС без учета смены формата кадра, а затем расширена на случай со сменой формата кадра. Далее представлен ряд модификаций, необходимых для адаптации НГО:

- в контексте обработки ГТС НГО – это дерево коммутации, соответствующее схеме соединений датчиков и коммутаторов в сложном техническом объекте;
- выделяется 2 типа атрибутов для вершин: атрибуты для коммутаторов, атрибуты для конечных датчиков: $T_V = \{d, c\}$, где d – тип атрибута «датчик», c – тип атрибута «коммутатор»;
- атрибуты ребер имеют один-единственный тип, который характеризуется пустым кортежем значений атрибутов: $T_E = \left\{e^0\right\}$;
- узлами дерева являются вершины, описывающие субкоммутаторы. Корень дерева характеризует главный коммутатор. Листья дерева – это параметры, измеряемые конечными датчиками.

Так как каждый коммутатор характеризуется в первую очередь последовательностью, с которой он опрашивает подключенные к нему датчики и (или) субкоммутаторы, то атрибутом для коммутаторов будет являться кортеж имен вершин-потомков:

$$P_C = \langle nv_1 \ldots nv_m \rangle,$$

где $nv_1 \ldots nv_m$ – имена вершин $v_1 \ldots v_m \in V$, связанных с данным коммутатором – $(c, v_1) \ldots (c, v_m) \in E$.

Для задания атрибутов датчиков предлагается применить метод гистограмм, в рамках которого строится гистограмма частоты встречаемости каждого значения информационного слова для данного параметра.

Таким образом, кортеж атрибута для датчиков имеет следующий вид:

$$P_D = \langle\, p_0 \ldots p_l \rangle,$$

где $p_0 \ldots p_l$ – вероятности появления значений $0 \ldots l$ $\left(l = 2^{L_{\text{ИС}}}\right)$. При этом кортеж P_D обладает следующим свойством:

$$\sum_{k=0}^{l} p_k = 1.$$

Ниже представлена разработанная модель ГТС в рамках НГО для постоянного формата кадра:

$$\text{GTS} = \langle V \quad E \quad A_E \quad \alpha_E \quad T_E \quad \alpha_E \rangle,$$

где $A_E = \begin{bmatrix} c\langle nv_1 \ldots nv_m \rangle \\ d\langle\, p_0 \ldots p_l \rangle \end{bmatrix}$. Данную модель назовем *деревом режима в ГТС*.

Для обобщения графовой модели на случай смены формата кадра вводится новый тип ребер, фиксирующий связь замещения исходного элемента структуры на новый элемент. Новое множество атрибутов ребер имеет вид

$$T_E^+ = \left\{ e^0, r^0 \right\},$$

где e^0 – атрибут ребер «непосредственно связан»; r^0 – атрибут ребер «элемент заменяется на». Следует отметить, что возможен случай, когда при смене структуры кадра параметр для i-й позиции продолжает передаваться на i-й позиции, однако его поведение уже характеризует другое состояние сложной технической системы. По этой причине такой параметр «разделяется» на 2 узла (узел графа до смены формата кадра и после), которые связаны ребром типа r^0. Ниже представлена обобщенная модель ГТС в рамках НГО, получившая название *графовой модели ГТС*:

$$\mathrm{GTS}^+ = \left\langle V \quad E \quad A_E \quad \alpha_E \quad T_E{}^+ \quad \alpha_E \right\rangle. \tag{3}$$

Экспериментальные исследования структурной модели ГТС. Рассмотрим процесс построения графовой модели ГТС (3). Пусть проводится испытание сложной технической системы, на которой установлены датчики Д1–Д8. Испытания системы могут проводиться в нескольких режимах, каждый из которых характеризуется своим набором фиксируемых параметров. Рис. 1 иллюстрирует смены формата кадра. Здесь Субх2 – субкоммутатор, осуществляющий коммутацию параметров, измеряемых на частоте, вдвое меньшей частоты опроса главного коммутатора.

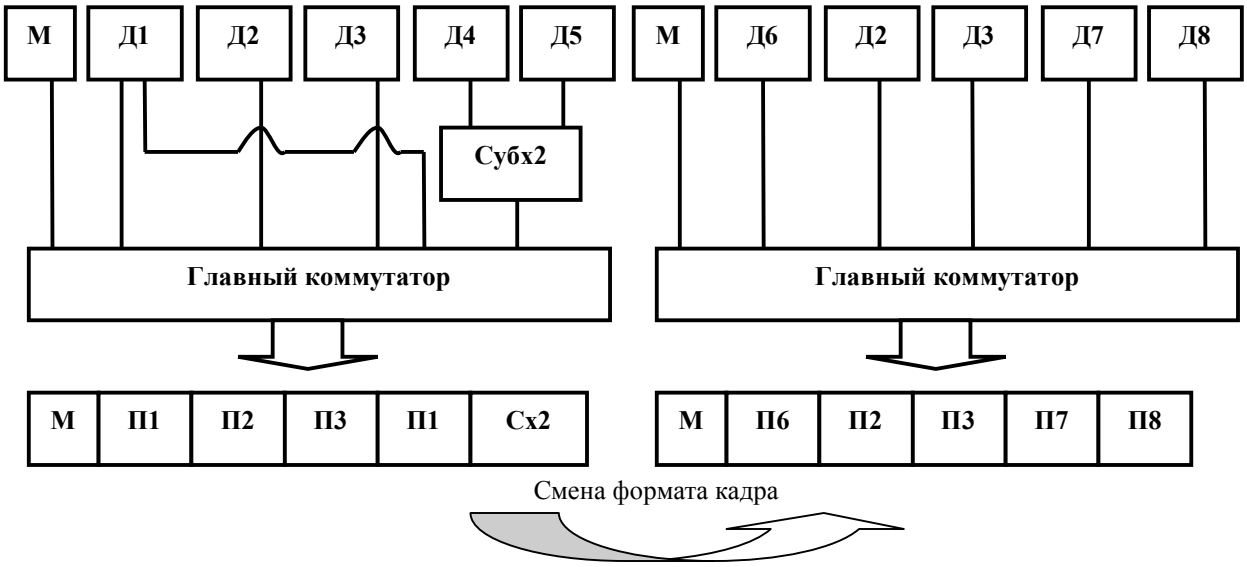


Рис. 1

Вид графовой модели GTS^+ представлен на рис. 2. Чтобы не загромождать рисунок, в нем были опущены атрибуты вершин.

Графовая модель GTS^+ может рассматриваться как граф слоев, где каждый слой является деревом, описывающим один режим системы в ГТС.

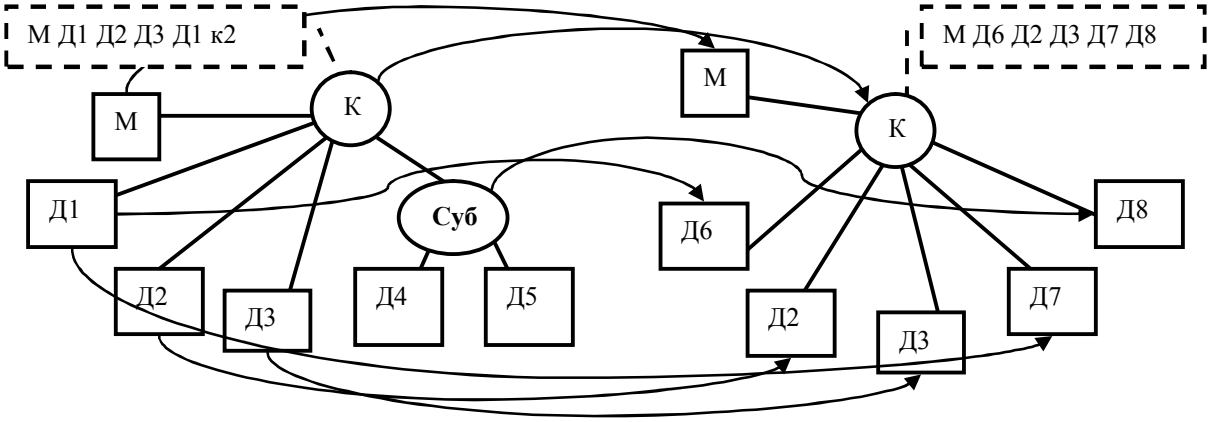


Рис. 2

Таким образом, предложена графовая модель ГТС, позволяющая в отличие от ранее используемой частотно-ранговой модели учесть схему соединения датчиков в сложной технической системе, а также рассматривать значения каждого параметра как отдельные составляющие модели, а не как совокупность информационных слов. Использование в качестве основы модели ГТС нагруженного графа дает возможность использовать развитый математический аппарат теории графов. В рамках данной теории нахождение степени сходства ГТС можно осуществить на основе строгих подходов и на основе подходов, толерантных к ошибкам [6]. Особенно интересны вторые, так как для них за каждым несоответствием в графах закрепляется операция редактирования с предопределенной стоимостью, приводящая 2 графа к согласованию [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метод идентификации групповых телеметрических сигналов на основе частотно-рангового распределения / В. Э. Балтрашевич, А. В. Васильев, Н. А. Жукова, И. С. Соколов // Математические методы распознавания образов: Тез. докл. 14-й Всерос. конф., Владимирская обл., Суздаль, 21–26 сент. 2009. М.: МАКС Пресс, 2009. С. 305–308.

2. Кукушкин С. С., Байгушев А. П. Использование метода статистико-лингвистического анализа для классификации и идентификации телеметрической информации // Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика: Тез. докл. 4-й Междунар. науч.-техн. конф., Рязань, 9–10 окт. 2003 / Рязанская радиотехническая академия. Рязань, 2003. С. 251–254.

2. Идентификация телеметрических параметров с использованием нейронных сетей / В. В. Геппенер, Н. В. Горбачева, Н. А. Жукова, И. С. Соколов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. № 11. М.: Радиотехника, 2009. С. 39–44.

4. Foggia P., Genna R., Vento M. Introducing generalized attributed relational graphs (gargs) as prototypes of args // In Proc. of the 2nd IAPR Workshop on Graph-based Representations (GbR99), Haindorf, Austria, 1999.

5. Eshera M. A., Fu K. S. An image understanding system using attributed symbolic representation and inexact graph matching // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. 8(5). P. 604–617.

6. Charu C. Aggarwal, Haixun Wang. Managing and Mining Graph Data. Springer Science+Business Media, LLC 2010.

7. Bunke H., Allermann G. Inexact graph matching for structural pattern recognition // Pattern Recognition Letters. 1982. Vol. 1, № 4. P. 245–253.

I. S. Sokolov, N. A. Zhukova, V. E. Baltrashevich

GROUP TELEMETRIC SIGNALS GRAPH MODEL WITH CHANGING FRAME

In the paper formal statement for identifying group telemetric signals structure is given. Existing solutions are analyzed. Structural description of objects based on attributed relational graph is considered. Modification of attributed relational graph for group telemetric signals is given.

Complex technical system, group telemetric signal, frame structure, object structural description, graph model

УДК 007:681.512.2

А. В. Васильев, А. Д. Витол, Н. А. Жукова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУППОВОГО ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Рассматривается подход к определению семантического состава группового телеметрического сигнала, включающий этапы определения типов представления, типов телеметрических параметров и выявления функциональных зависимостей между параметрами. Приводится описание предлагаемых алгоритмов, теоретическая оценка сложности алгоритмов и оценка достоверности получаемых результатов.

Групповой телеметрический сигнал, семантическое описание телеметрической информации, обработка измерительных данных

В процессе испытаний (эксплуатации) сложных технических объектов контроль и оценка состояния объекта осуществляются на основе анализа передаваемой с объекта телеметрической информации. Передаваемые данные содержат информацию, полученную от датчиков, установленных на объекте, и представляют собой структурированный бинарный поток, получивший название группового телеметрического сигнала (ГТС) [1]. Телеметрические параметры извлекаются из бинарного потока (декоммутация параметров) в соответствии с формуляром, содержащим детальное описание структуры потока, и группируются согласно их типам. Как правило, используется следующее структурное деление: константные параметры, счетчики, контактно-кодовые параметры, меандры, функциональные параметры. Под семантическим составом ГТС понимается совокупность сгруппированных в соответствии с типом параметров. Необходимость группировки определяется использованием различных технологий для обработки параметров каждого типа. Этап группировки параметров – один из наиболее трудоемких в процессе анализа телеметрической информации. Отсутствие автоматизированных средств анализа определяется, в первую очередь, отсутствием адаптированных алгоритмов, учитывающих специфику телеметрических параметров, которая заключается в большом объеме каждого отдельного параметра, нестационарности процессов, высоком уровне содержания шумов (2…20 %).

В статье предлагается подход к автоматическому определению семантического состава ГТС.

Формальная постановка задачи. Задача семантического анализа заключается в формировании структурированного множества параметров на основе группового телеметрического параметра, т. е. требуется построить отображение $f{:}G_{\mathrm{Str}} \to G_{\mathrm{Sem}}$, где G_{Str} – групповой телеметрический сигнал; G_{Sem} – семантическое описание группового телеметрического сигнала.

Групповой телеметрический сигнал описывается как $G_{\mathrm{Str}} = \langle F_k,\ t_k \rangle$, $k = 0...N$, где F_k – k-я структура ГТС; t_k – момент времени, начиная с которого наблюдается структура F_k; N – общая продолжительность ГТС. Структура ГТС F_k представляется в виде: $F_k = \langle L_{\text{ИС}},\ \ L_{\text{К}},\ \ \mathrm{Sup},\ \ \mathrm{Sub} \rangle$, где $L_{\text{ИС}}$ – длина информационного слова; $L_{\text{К}}$ – длина кадра; Sup – множество суперкоммутируемых параметров; Sub – множество субкоммутируемых пара-

метров. Множество Sup определяется как множество пар: $(i,\ f)$, где i – индекс суперкоммутируемого параметра; f – период суперкоммутации. Множество Sub определяется как множество пар: $(j,\ d)$, где j – индекс субкоммутируемого параметра; d – период субкоммутации.

Семантический состав группового телеметрического сигнала описывается как $G_{\text{Sem}} = \langle G_{\text{Sign}}, G_{\text{Type}} \rangle$, где $G_{\text{Sign}} = \langle P_{\text{sign}}, P_{\text{unsign}} \rangle$ – информация о знаковом представлении каждого параметра – набор из множеств параметров со знаком и без; $G_{\text{Type}} = \langle P_{\text{const}}, P_{\text{code}}, P_{\text{count}}, P_{\text{meandr}}, P_{\text{mantesse}}, P_{\text{order}}, P_{\text{low}}, P_{\text{high}}, P_{\text{func}} \rangle$ – информация о типе; P_{const} – множество константных параметров; P_{code} – множество контактно-кодовых параметров; P_{count} – множество счетчиков; P_{meandr} – множество меандров; P_{mantesse} – множество мантисс; P_{order} – множество порядков; P_{low} – множество младших частей распределенных параметров; P_{high} – множество старших частей распределенных параметров; P_{func} – множество функциональных параметров. Под параметром P понимается последовательность элементов $C_N = \{x_n, t_n\}$, $n = 1, 2, ..., N$, где $\{x_n\}$ – последовательность дискретных измерений; $\{t_n\}$ – упорядоченная последовательность временных отсчетов на интервале измерения I: $\min I \le t_1 \le t_2 \le ... \le t_N \le \max I$.

Особенностью контактно-кодовых параметров является малое количество одновременно изменяющихся разрядов в момент перехода из одного стационарного состояния в другое. Особенностью меандров является содержание информации не в принимаемом параметром значении, а в моменте смены этого значения.

Описание общего подхода к определению семантического состава ГТС. Процесс определения семантического состава ГТС предполагает 2 основных этапа (рис. 1): предварительное определение типа представления параметров и определение их типов.

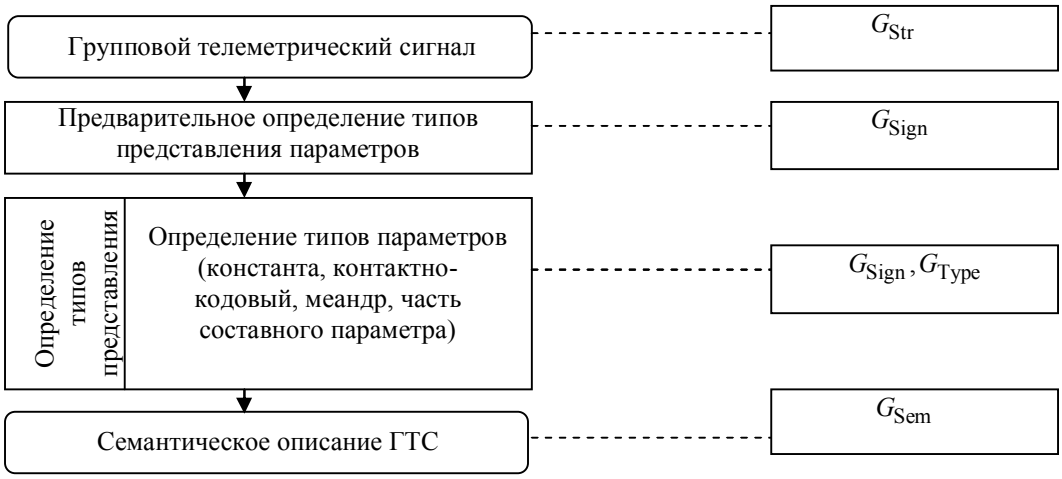


Рис. 1

Предварительное определение типа представления телеметрических параметров осуществляется на этапе декоммутации ГТС. На этапе определения типов параметров множество декоммутированных параметров представляется в виде совокупности множеств типизированных парамет-

ров – константных, контактно-кодовых, счетчиков, меандров и частей составных параметров (мантисс, порядков, старших и младших частей распределенных параметров). Определение типов представления параметров на этапе определения типов параметров осуществляется при анализе составных параметров для проверки правильности их представления в декоммутированном виде. На первом этапе определения типа представления параметров точность не столь важна, однако желательна скорость и низкая ресурсоемкость алгоритма, на втором ни скорость, ни ресурсоемкость не являются ограничителями, но важна точность.

Определение типа представления телеметрических параметров. Рассмотрим алгоритмы определения типа представления телеметрических параметров.

Алгоритм предварительного определения типа (быстрый алгоритм) основан на распределении слов при неправильном представлении. Проводится анализ распределения значений в беззнаковом представлении параметра. Экспериментальным путем установлено, что при неправильном представлении более 75 % значений будут располагаться в 12,5 % интервалов у начала и конца диапазона значений сигнала, образованного длиной информационного слова (рис. 2, *а*). Если это условие выполняется, параметр признается представленным со знаком (рис. 2, *б*).

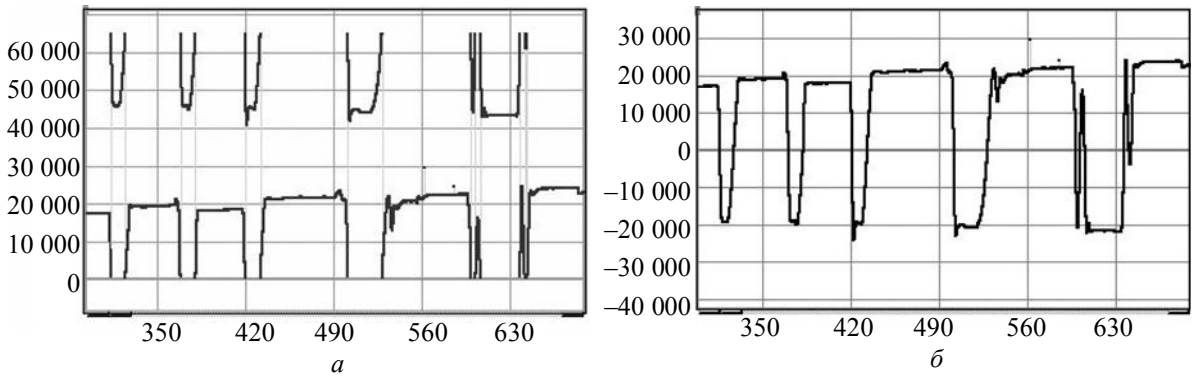


Рис. 2

Алгоритм определения типов параметров на втором этапе обработки (точный алгоритм) основан на предположении о гладкости параметров, т. е. отсутствии резких скачков и разрывов производной. Разрывы будут наблюдаться в моменты перехода параметра через прямую, проведенную через максимальное положительное число из диапазона при знаковом представлении: $m = 2^{L_{\text{ИС}}-1}$. Таким образом, вычислив во всех точках перехода через знаковую прямую модуль разности значений, можно составить характеристики гладкости $ml1 = \frac{dy_{\max}}{dy_e}$ и $ml2 = \frac{dy_e}{2m}$, где $dy_{\max} = \max\limits_i \{dy_i\}$; $dy_e = \frac{\sum\limits_j e_j}{\max(j)}$. Для исключения сильного воздействия случайных шумовых выбросов на результат среднее значение модуля разности значений dy_e считается как среднее значение среди набора средних значений на интервалах по 100 точек, расставленных на всей длине параметра; e_j – среднее значение dy на j-м интервале. В качестве верхнего порога для первой характеристики задается значение 1.35, в качестве нижнего порога для второй – 0.6. Если характеристики удовлетворяют пороговым значениям, то параметр считается представленным со знаком, иначе – без знака.

Определение типа телеметрических параметров. Для определения типа параметра предлагается пропустить параметр через серию из семи последовательных тестов: тест константы, тест контактно-кодового параметра, тест меандра, тест счетчика, тест мантиссы, тест младшей части составного параметра, тест порядка, тест старшей части составного параметра. Тесты расположены в порядке возрастания сложности алгоритма и в порядке убывания его строгости. Тесты проводятся в рассмотренном порядке до первого положительного результата.

Последовательность отдельных тестов крайне важна. Например, тест меандра следует проводить после теста контактно-кодового параметра, так как любой контактно-кодовый параметр даст положительный результат в тесте меандра. Аналогично любой счетчик даст положительный тест младшей части. Параметру присваивается тот тип, тест которого дал положительный результат. Если ни один тест не дал положительного результата, тип параметра считается неопределенным и он относится к функциональным параметрам. Перед прохождением тестов желательно провести предварительную обработку параметров с целью очистки от шума [2] и удаления выбросов.

Алгоритм определения констант основан на предположении, что существует некое значение сигнала v, такое, что не менее заданного процента значений параметра равно v. Если это выполняется, параметр признается константным. Для определения самого значения v из значений параметра выбираются 50 случайных значений, которые раскладываются в список повторений, и выбирается встречающееся чаще всего.

Алгоритм определения счетчиков основан на выявлении в параметре основного признака счетчика – последовательности серий значений одинаковой длины с постоянным приращением значений во всех сериях. Алгоритм предполагает выявление трех основных характеристик: количества серий, ритмичности $d = \frac{\sum\limits_{S_i \neq \max\limits_j (S_j)} S_i}{\sum\limits_i S_i}$, где S – множество встречаемости длин серий, и стабильности $b = \frac{\sum\limits_{W_i \neq \max\limits_j (W_j)} W_i}{\sum\limits_i W_i}$, где W – множество встречаемости приращения. Концом серии считается разрыв, скачок значения более чем в четверть максимума модуля сигнала. Задав пороговые значения для всех трех характеристик можно задать желаемую точность определения.

Алгоритм определения контактно-кодовых параметров основан на выявлении резкого изменения среднего при переходе из одного стационарного состояния, характеризующегося постоянным средним значением параметра, в другое. Изменение определяется вычислением дисперсии на интервалах длиной 20–30 точек. Предполагаем, что изменение произошло, если найден интервал с дисперсией, большей порогового значения. Для определения перехода можно использовать тройку характеристик $e_i' = \frac{|e_i - e_{i-1}|}{e_{i-1}}$, $ed_i = \frac{d_i}{e_i}$ и $e_i'' = \frac{e_i - e_{i-3}}{e_{i-3}}$, где e_i – среднее значение параметра в окне; d_i – дисперсия значений параметра в окне; i – номер окна. Дополнительно будем считать e_i'' для определения смены среднего. Для стационарных процессов предполагаем, что значения e_i' и ed_i не превышают 0.005 и 0.05 соответственно.

Для окна с точкой перехода из одного стационарного состояния в другое предполагаем, что ed_i превышает предел и сумма e_i'' в пяти окнах (непосредственно с превышенным ed_i и четырех соседних) превышает 0.8. Роль контролирующей характеристики в этом случае играет длина участка, на котором не зафиксирована смена состояния.

Алгоритм определения меандров основан на проверке двух основных свойств меандра – постоянности периода (как правило, не для всего параметра, а для некоторого фрагмента) и ограниченности количества значений, принимаемых параметром. Тесты меандра и контактно-кодового параметра имеют одинаковую начальную проверку на диапазон значений. Если параметр не удовлетворяет тесту контактно-кодового параметра по диапазону значений, то проводить тест меандра нет смысла. Производится подсчет количества значений в периодах с наиболее часто встречающейся длиной и количества значений со встречаемостью не менее 5 %. Для обеих характеристик считаются отношения $\frac{l-\max}{l}$, где l – общее количество значений в сигнале; max – значение максимума. Перед проведением теста целесообразно провести более грубую проверку диапазона значений, разбив сигнал на окна по 20 точек и подсчитав для каждого окна e_i' и ed_i (см. алгоритм определения контактно-кодовых параметров). Если процент окон, для которых эти характеристики не попадают в заданный диапазон, больше порога количества значений, нет смысла проводить дальнейшие проверки и можно принять результат теста отрицательным. Задав пороговые значения для обоих отношений, можно задать требуемую точность определения.

Алгоритм определения мантисс основан на поиске серии плавных участков (с разностью между двумя последовательными значениями не более 2…5 %) параметра, на концах которых наблюдается скачок в четверть и более диапазона значений параметра. Экспериментально установлено, что при этом максимум отношений дифференциалов на концах последовательных участков должен быть приблизительно равен двум.

Алгоритм определения порядков и старших частей составного параметра основан на поиске серии константных участков со скачком значения на 1 между двумя последовательными участками. В серии не включаются участки, длина которых меньше заданной. Задав пороговые значения для минимальной длины участка и их минимального количества можно задать требуемую точность определения.

Алгоритм определения младшей части составного параметра основан на поиске серии плавных участков параметра, на концах которых наблюдается скачок в четверть и более диапазона значений параметра. В серии не включаются участки, длина которых меньше заданной. Задав пороговые значения для минимальной длины участка и их минимального количества можно задать требуемую точность определения.

Оценка алгоритмов определения семантического состава ГТС. Для каждого из разработанных алгоритмов теоретически оценивались сложность и достоверность получаемых результатов. Оценки представлены в таблице.

Достоверность результатов оценивалась с использованием программного модуля, реализованного в среде Borland Delphi 2006. В качестве исходных данных использовалось 20 модельных

групповых телеметрических сигналов, содержащих порядка 500 разнотипных параметров в каждом. Выводы о достоверности обработки делались на основе экспертного заключения.

Алгоритм	Оценка сложности	Процент верно определенных типов	
		при шуме 2 %	при шуме 20 %
Быстрый алгоритм определения типа представления	$O(N)$	92	83
Точный алгоритм определения типа представления	$O(N \cdot K)$	93	86
Алгоритм определения констант	$O(N)$	90	83
Алгоритм определения контактно-кодовых параметров	$O(N)$	91	71
Алгоритм определения счетчиков	$O(N \log_2 M)$	91	82
Алгоритм определения меандров	$O(N \log_2 M)$	90	84
Алгоритм определения мантисс/младших частей	$O(N)$	91	86
Алгоритм определения порядков/старших частей	$O(N)$	94	87

Примечание. В таблице используются следующие обозначения: N – количество точек в параметре; M – мощность множества значений параметра; K – количество переходов через знак.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что использование совокупности алгоритмов определения семантического состава ГТС позволяет верно определить тип параметра при уровне шума 2 % не менее чем в 91.5 % случаев, а при 20 %-м уровне шума – не менее чем в 82,7 % случаев. Процент ошибок, при которых тип параметра был определен неверно, составил 2.

Апробация алгоритмов определения семантического состава ГТС. Рассмотренные алгоритмы были реализованы в программном комплексе в рамках опытно-конструкторской разработки, посвященной вопросам обработки и анализа телеметрической информации при контроле результатов пусков. Работоспособность комплекса подтверждена результатами обработки реальных данных, полученных в ходе испытательных пусков ракетно-космической техники. Результаты обработки реальных данных позволили установить, что применение алгоритмов семантического описания ГТС позволяет существенно снизить трудоемкость данного этапа обработки (на 40…50 %) и повысить ее скорость в 3…5 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современная телеметрия в теории и на практике / А. В. Назаров, Г. И. Козырев, И. В. Шитов и др. СПб.: Наука и техника, 2007.

2. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Пер. с англ. М.: Вильямс, 2004.

A. V. Vasiliev, A. D. Vitol, N. A. Zhukova

DETERMINING THE SEMANTIC COMPOSITION OF THE GROUP TELEMETRICAL SIGNAL

An approach to the determining the semantic composition of the group telemetric signals is being described, including the stages of determining the types of representation, the types of telemetry parameters and identifying the functional dependencies between parameters. The paper contains description of the proposed algorithms and the theoretical assessment of the algorithms complexity and evaluation of results reliability.

Group telemetrical signal, semantic description of the telemetry data, measurement data processing

УДК 519.218.82

Т. Н. Князева, Н. И. Орешко

ОЧИСТКА ОТ ШУМА И СБОЕВ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ТЕХНОЛОГИИ

Описан ряд сложных проблем, связанных с обработкой некоторых классов телеметрических параметров в условиях реального сеанса измерений, т. е. при наличии сбоев, разрывов во временной сетке, низкочастотной помехи, неизвестной модели шумов, изменения временных и частотных характеристик анализируемого процесса и др.

Очистка от шума, удаление выбросов, нестационарность, вейвлет-преобразование

При обработке телеметрических параметров в условиях реального сеанса измерений возникает ряд проблем, которые не позволяют эффективно использовать стандартные алгоритмы оценки качества полета изделия, приведенные в документации и методиках, поставляемых разработчиками изделий на полигон. Это, прежде всего, наличие многочисленных сбоев, разрывов во временной сетке, низкочастотной помехи, неизвестной модели шумов, резких изменений (вплоть до разрывов) в наблюдаемых данных и их производных, изменение (быстрое и медленное) временных и частотных характеристик анализируемого процесса и многое др. Однако важнейшим аргументом является обработка и анализ данных при нештатных и аварийных ситуациях. В этом случае могут реализовываться все упомянутые факторы и в силу важности выявления (желательно оперативного) причин аварии требуются специализированные алгоритмы. Также немаловажным фактором является оперативность, минимизация потерь в объемах обрабатываемых данных и получение оценок с гарантированным качеством.

Все приведенные аргументы в совокупности приводят к необходимости разработки и внедрения новых концепций и методов обработки данных. В настоящей статье коснемся одной из важных задач повышения точности и достоверности анализа, а именно методов очистки телеметрических параметров от шума и сбоев.

В качестве основного подхода к решению поставленной задачи использован подход, базирующийся на применении вейвлет-технологии. В его основе лежат 3 главные идеи. Первая основана на представлении анализируемого процесса в виде комплектов того же процесса, но с различным разрешением, начиная от максимального (самого тонкого) и заканчивая самым грубым. Это позволяет рассматривать анализируемый процесс как бы с разным увеличением и тем самым выявлять его характерные особенности в различных частотных диапазонах. Вторая идея основана на использовании базисных функций, характерной особенностью которых является способность отслеживать тонкие локальные детали анализируемого процесса. Использование таких базисов позволяет адекватно и компактно описать широкий класс нестационарных (а тем более стационарных) процессов. И третья идея основана на построении легкореализуемых алгоритмов с высоким быстродействием.

Важной операцией, позволяющей повысить точность и достоверность результатов обработки, является операция очистки от шума. В зависимости от задачи используются как традиционные методы на основе регрессионного анализа, так и современные, основанные на вейвлетах, которые позволяют быстро и эффективно обрабатывать широкий класс нестационарных процессов с изменяющейся гладкостью вплоть до разрывов производных. К таким процессам, прежде всего, отно-

сятся данные, характеризующие высокодинамичные участки полета изделия (отделения ступеней, маневры, сходы боевых блоков) для траекторных измерений и участки резкого изменения перегрузок, моменты ударов для телеметрических измерений (ТМИ).

Следует, однако, отметить, что каждый из используемых методов наиболее эффективно работает на своих наборах данных. Поэтому для повышения эффективности всей технологии в целом в нее необходимо включить некоторый дополнительный начальный этап анализа, а именно ввести этап автоматизированной классификации и последующей сегментации исходных данных на участки в соответствии с наиболее эффективным применением последующих алгоритмов обработки и анализа данных ТМИ. Таким образом, выбирается некоторое правило или совокупность правил, которые могли бы помочь разделить исходные данные на участки в соответствии с заранее поставленной задачей и соответствующим ей математическим инструментарием.

Кроме эффективного применения алгоритмов к классифицированным данным получаем также (при успешном решении этой задачи) мощный подход и к глобальному, и к локальному анализу больших массивов данных. В целом это приводит к оптимальному плану обработки данных эксперимента и позволяет существенно сократить временные затраты на обработку и в то же время не пропустить важные и тонкие моменты и участки в анализируемом процессе.

Указанная задача формализуется следующим образом. В качестве базовой модели используется модель вида

$$y_i = f(t_i) + f_{\text{o}}(t_i) + \sigma(t_i)\xi_i ,$$

где y – измеренные на дискретном множестве точек значения анализируемого параметра; $f_{\text{o}}(t_i)$ – осциллирующая составляющая; $f(t_i)$ – кусочно-непрерывная на $[a_0, a_{m-1}]$, такая, что существует разбиение $0 = a_0 < a_1 < \ldots < a_{m-1} = N-1$ и

$$f(t_i) = \begin{cases} f_0(t_i), \ a_0 \le t_i < a_1, \\ f_1(t_i), \ a_1 \le t_i < a_2, \\ \ldots \\ f_{m-1}(t_i), \ a_{m-2} \le t_i \le a_{m-1}, \end{cases}$$

где $f_j(t_i)$ – гладкие функции ($j = 0, 1, \ldots, m-1$).

Помеховая составляющая моделируется компонентой вида $\varepsilon(t_i) = \sigma(t_i)\xi_i$, где ξ_i – независимые случайные величины, для которых предполагается распределение в виде модели Тьюки $(1-\alpha)\Phi(\xi) + \alpha\Phi(\xi/k)$; α – вероятность появления выброса, уровень которого в k раз превосходит среднеквадратическое отклонение (СКО) шума; Φ – функция стандартного нормального распределения; $\sigma^2(t_i)$ – дисперсия случайной компоненты. Предполагается, что она может изменяться по кусочно-постоянному или неизвестному закону, описываемому гладкой функцией. Общая задача заключается в поиске оценки $\hat{f}$ полезного сигнала f.

Общая схема обработки телеметрических данных на основе вейвлет-технологии (рис. 1) предусматривает следующие этапы: обработку данных перед очисткой сигнала от шума, разведочный анализ для адаптивного выбора способа и параметров очистки от шума, компенсацию

краевых эффектов, процедуру очистки от шума, анализ и интерпретацию результатов. Отдельно рассмотрен этап разведочного анализа данных, включающий в себя способы проверки шума на коррелированность и нестационарность, выбор вейвлет-преобразования (ВП), выбор наилучшего базиса и его параметров, выбор способа пороговой обработки, правил и порогов для модификации вейвлет-коэффициентов (ВК), выбор числа уровней вейвлет-разложения.

Рис. 1

Этап анализа и обработки данных перед очисткой сигнала от шума включает в себя удаление выбросов и осциллирующих составляющих, заполнение разрывов, анализ, классификацию, кластеризацию, сегментацию и отбор участков для обработки данных.

По результатам проведенных исследований предлагается новый алгоритм обнаружения выбросов, основанный на максимально накладывающемся дискретном вейвлет-преобразовании (МНДВП) [1]. Разработанный алгоритм эффективен при обработке реальных сигналов, работает при наличии высокоосциллирующих составляющих в данных, непосредственно определяет местоположение выбросов.

Обнаружение выбросов на основе МНДВП. Алгоритм обнаружения выбросов включает в себя следующие шаги:

1. Вычисляются ВК с помощью МНДВП по формуле

$$W_1(i) = \sum_{l=0}^{L-1} \tilde{g}_l y\left((i-l) \bmod N\right), i = \overline{0, N-1}, \qquad (1)$$

где $(i-l) \bmod N = \begin{cases} i-l,\ i-l \geq 0, \\ i-l+N,\ i-l < 0; \end{cases}$ $\tilde{g}_l, \tilde{h}_l$ – коэффициенты высокочастотного и низкочастотного фильтров соответственно. Они могут быть получены из фильтров Добеши g_l, h_l, например нормированием на $\sqrt{2}$, т. е. $\tilde{g}_l = g_l / \sqrt{2}$ и $\tilde{h}_l = h_l / \sqrt{2}$; L – длина фильтра.

2. Полученные ВК разбиваются на интервалы, равные длине фильтра L.

3. Определяется максимальный по модулю ВК в каждом интервале.

4. С учетом требуемого уровня отбраковки P рассчитывается значение порога для определения ВК, соответствующих выбросам, по формуле

$$T = P\sigma,$$

где σ – СКО, вычисляемое с учетом того, что ВК определялись с помощью МНДВП, для которого коэффициенты высокочастотного и низкочастотного фильтров нормированы на $\sqrt{2}$. Формула расчета СКО на первом уровне ВП имеет вид

$$\sigma = \sqrt{2}\,\frac{\mathrm{MED}\left|\mathbf{W} - \mathrm{MED}(\mathbf{W})\right|}{0.6745},$$

где MED – медиана; $\mathbf{W}$ – вектор ВК первого уровня разложения.

5. С учетом рассчитанного порога определяются наибольшие ВК, которые соответствуют выбросам.

6. Для того чтобы определить индексы найденных выбросов в исходном сигнале, необходимо провести их коррекцию в вейвлет-области. Индексы ВК, соответствующие выбросам, сдвигаются за счет формы фильтра.

7. Значения, соответствующие выбросам, исключаются из рассмотрения.

8. Повторяются шаги 2–7, но при этом окно сдвигается на половину длины фильтра. Определяется пересечение индексов найденных выбросов в первом случае и в случае сдвинутого окна для исключения обнаружения ложных выбросов.

9. Повторяются шаги 1–8 до тех пор, пока алгоритм не найдет ни одного выброса или будет превышено максимально возможное число итераций.

10. Заполняются разрывы, образованные в результате удаления выбросов и сбойных участков.

Этапы обнаружения выбросов в телеметрических данных показаны на рис. 2 (*а* – исходный сигнал; *б–д* – этапы обнаружения выбросов; *е* – результаты отбраковки). Значения на рисунках представлены в относительных единицах.

Результаты измерений нередко содержат нестационарный шум, дисперсия которого изменяется со временем. Такой шум называется гетероскедастическим, и традиционные методы очистки от шума в таком случае не применимы. Разработаны способы удаления нестационарного шума, дисперсия которого изменяется по кусочно-постоянному закону или по неизвестному закону, описываемому гладкой функцией [2].

Удаление нестационарного шума. Алгоритм очистки от нестационарного шума, дисперсия которого изменяется по кусочно-постоянному закону, включает в себя следующие шаги:

1. Определяются ВК первого уровня по формуле (1).

2. ВК разбиваются на p интервалов. На каждом интервале определяется выборочная дисперсия $D_k^*, k = 1, ..., p$.

3. Проверяется гипотеза о нестационарности $H_0 : D_1^* = D_2^* = ... = D_p^*$. Если гипотеза H_0 отвергается, то шум нестационарный.

4. Определяются ВК первых J уровней W_j $\left(j = \overline{1, J}\right)$ по формуле

$$W_j(i) = \sum_{l=0}^{L-1} \tilde{g}_l V_{j-1}\left(\left(i - 2^{j-1} l\right) \bmod N\right),\ V_j(i) = \sum_{l=0}^{L-1} \tilde{h}_l V_{j-1}\left(\left(i - 2^{j-1} l\right) \bmod N\right),$$

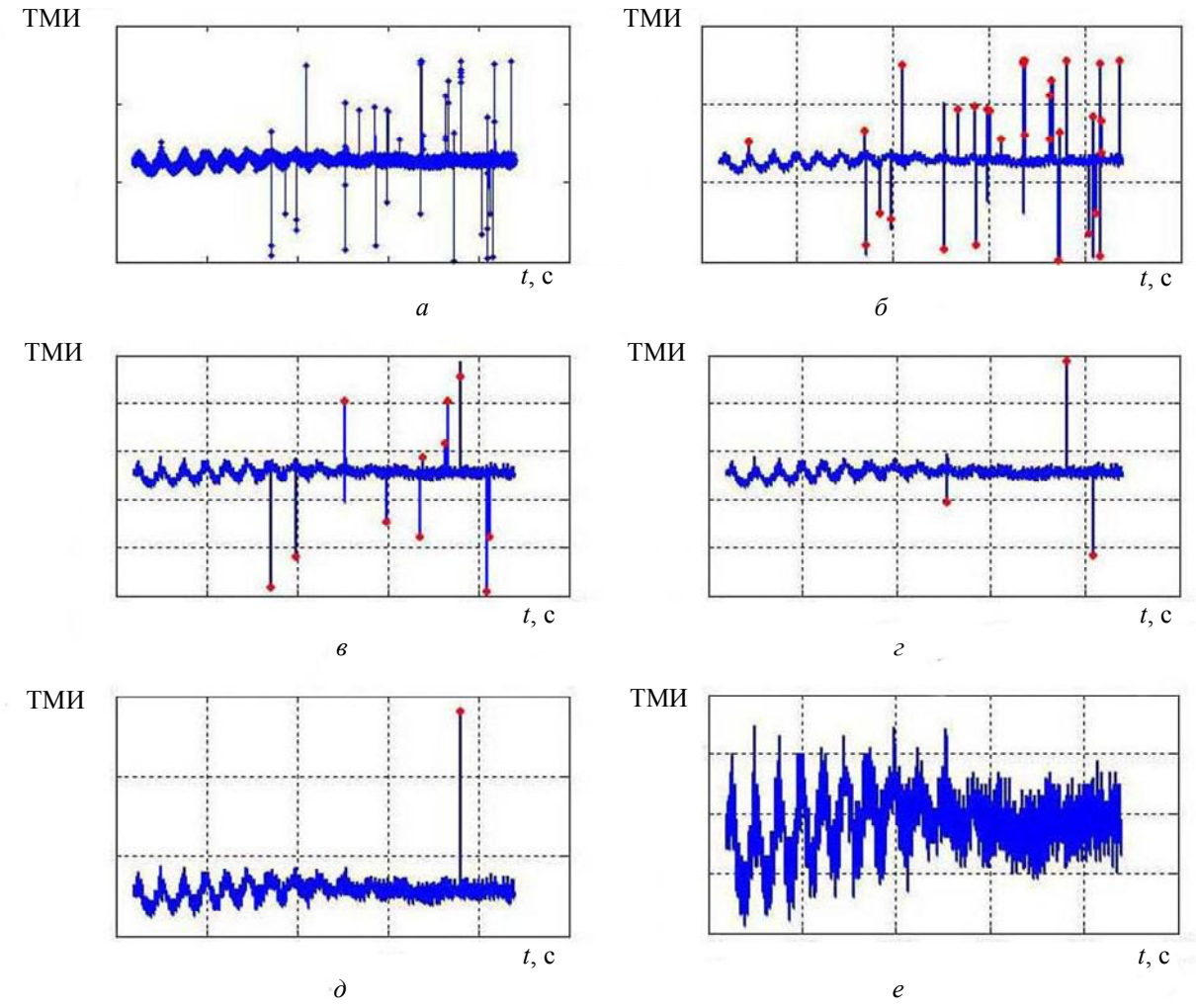


Рис. 2

$V_0(i) = y_i$ и выполняется их кластеризация, $W_j(i)\Big|_{i \in K_{j,k}}$ – ВК j-го уровня, входящие в k-й кластер.

5. Для каждого уровня разложения и каждого кластера вычисляются СКО и пороги

$$\sigma_{j,k} = \sqrt{2}\left(\frac{1}{z_k - 1}\sum_{i \in K_{j,k}}\left(W_j(i) - \bar{W}_j^k\right)^2\right)^{1/2},$$

где $\bar{W}_j^k$ – среднее значение ВК, входящих в кластер k; z_k – число ВК в k-м кластере.

6. Выполняется пороговая обработка

$$\tilde{W}_j(i) = \begin{cases} W_j(i), \left|W_j(i)\right| > T, \\ 0, \left|W_j(i)\right| \le T, \end{cases} \tag{7}$$

где $T = \left(\sigma_{j,k}\sqrt{2\log z_k}\right)/2^j$ при $i \in K_{j,k}$.

Выполняется обратное МНДВП с учетом модифицированных ВК $\tilde{W}_j$.

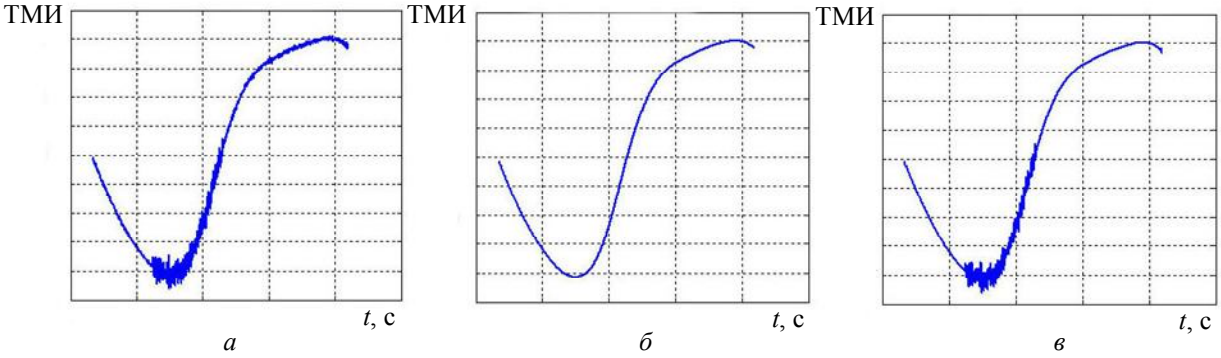


Рис. 3

Алгоритм очистки от нестационарного шума, дисперсия которого изменяется по закону, описываемому гладкой функцией, включает в себя следующие шаги:

1. Вычисляется шумовая составляющая с использованием МНДВП по формуле

$$\tilde{\sigma} = \underbrace{B_1^T W_1}_{D_1} + \underbrace{A_1^T B_2^T W_2}_{D_2} + \ldots + \underbrace{A_1^T \ldots A_{J-1}^T B_J^T W_J}_{D_J},$$

где $D_1, D_2, \ldots, D_J$ – проекции на детализирующее пространство соответствующих частотных полос; A, B – матрицы преобразований [3].

2. Определяется закон изменения СКО шума $\hat{\sigma}(i = 0,1,\ldots,N-1)$ по модулю шумовой составляющей $|\tilde{\sigma}|$ с помощью ядерного сглаживания или ВП.

3. Выделенный тренд нормируется на $\sqrt{2/\pi}$, так как значения модуля выделенной шумовой составляющей принадлежат распределению модуля случайной величины, для которого среднее значение $E(|\tilde{\sigma}|) \approx \sqrt{2/\pi}\hat{\sigma}$, где $\tilde{\sigma} \in N(0,\hat{\sigma})$.

4. Выполняется пороговая обработка ВК с учетом восстановленного закона изменения СКО шума.

5. Выполняется обратное МНДВП с учетом модифицированных ВК.

Результаты удаления нестационарного шума приведены на рис. 3 (*а* – исходный сигнал; *б* – очищенный предлагаемым методом; *в* – классическим методом).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орешко Н. И., Князева Т. Н. Вейвлет-технология анализа и очистки от шума сигналов// Цифровая обработка сигналов. 2008. № 3. С. 21–25.

2. Князева Т. Н., Новиков Л. В., Орешко Н. И. Удаление нестационарного шума из экспериментальных данных// Научное приборостроение. 2008. Т. 18, № 2. С. 61–65.

3. Percival D., Walden A. Wavelet methods for time series analysis. London: Cambridge University Press, 2000. P. 594.

T. N. Knyazeva, N. I. Oreshko

DENOISING AND REMOVING OUTLIERS FROM TELEMETRIC DATA BY USING WAVELET TECHNOLOGY

In this paper we describe the difficult problems connected with telemetric signal processing in the conditions of a real session of measurements, that is in the presence of outliers, gaps in a time grid, the low-frequency hindrance with unknown model of noise, changed of time and frequency characteristics of analyzed process, etc.

Denoising, remove outliers, nonstationarity, wavelet transform

УДК 621.391

Д. В. Миненков

РАЗРАБОТКА БЛОКА ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В СИСТЕМЕ ДАЛЬНЕЙ СВЯЗИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ

Рассмотрена задача выбора параметров тракта цифровой обработки сигналов широкополосной системы связи с учетом требований к скорости передачи данных, предельному отношению сигнал/шум и ресурсам ПЛИС, в которой реализован тракт. Приведены результаты моделирования тракта с параметрами из начального технического задания и с выбранными в результате исследования.

Шумоподобные сигналы, широкополосная радиосвязь, согласованный фильтр, цифровая обработка сигналов

Разнообразие средств радиосвязи и количество абонентов создают ряд трудностей, связанных, в первую очередь, с распределением радиочастот, помехозащищенностью, мобильностью и идентификацией абонентов. Часть из этих проблем успешно решается дифференцированием радиоинтерфейсов по дальности действия, скорости передачи, мобильности и направленности. Другие решаются исключительно программно (ключи, пароли, коды). Третьи – запретом на использование поддиапазонов в гражданских целях. Четвертые – наращиванием мощности передатчиков.

Однако наиболее кардинальным и гибким способом решения данных проблем является использование широкополосных систем радиосвязи, особенно систем с расширенным спектром на основе шумоподобных сигналов (ШПС). Основа метода передачи информации с расширением спектра состоит в том, что достоверность передачи определяется отношением энергии, передающей один бит информации, к спектральной плотности шума.

Применение системы на основе ШПС имеет следующие преимущества [1]:

- помехозащищенность за счет выигрыша в отношении сигнал/шум расширенного сигнала относительно исходного, например: при скорости кодирования 1/1024 выигрыш будет $20\lg 1024 \approx 60$ дБ;

- скрытность и устойчивость к узкополосным помехам за счет «размазывания» сигнала по спектру, которое обратно пропорционально скорости кодирования;

- защищенность от прослушивания и модификации, поскольку для этого необходимо сначала «вскрыть» модулирующую псевдослучайную последовательность (ПСП).

Изначально задачей являлась разработка, моделирование и реализация алгоритмов ЦОС, обеспечивающих построение системы связи на основе ШПС со следующими характеристиками:

– битовая скорость передачи данных не менее 16 кбит/с;

– минимальное отношение сигнал/шум –14 дБ;

– ширина спектра по первым нулям 32 МГц;

– вероятность битовой ошибки 10^{-5};

– функционирование системы при движении мобильной станции со скоростями до 100 км/ч.

Предложенные заказчиком параметры тракта ЦОС:

– минимальная длина ПСП на 1 бит информации 511;

– поднесущая частота 32 МГц;

– частота АЦП 128 МГц;

– модуляция в канале ФМН-2 (BPSK).

Схема передающего тракта представлена на рис. 1. На передающей стороне на последовательность информационных бит (битовая скорость F_{bit}) накладывается *M*-последовательность длиной N_M символов (единица представляется *M*-последовательностью f_{M1}, ноль – f_{M0}).

Таким образом, частота следования чипов *M*-последовательности $F_M = N_M F_{\text{bit}}$. Далее сформированной последовательностью производится фазовая манипуляция (ФМН-2) поднесущей частоты F_c.

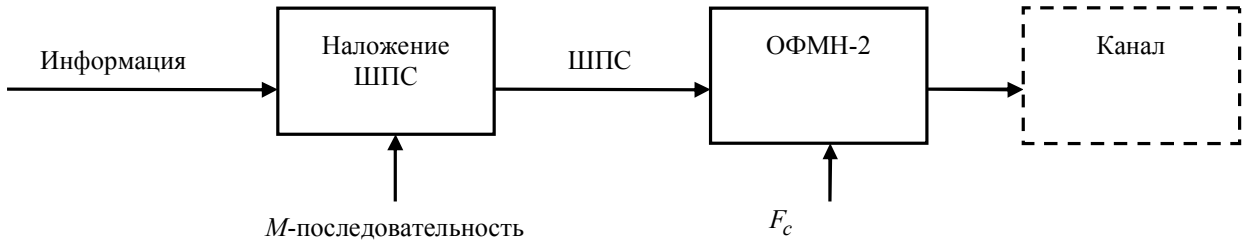


Рис. 1

На стороне приемника (рис. 2) аналоговый сигнал на поднесущей частоте F_c преобразуется АЦП в цифровую форму с частотой дискретизации F_s, при этом $F_c = F_s / 4$. Далее в ПЛИС производится перенос спектра сигнала на нулевую частоту и низкочастотная фильтрация сигнала. *M*-последовательность снимается с помощью коррелятора (согласованного фильтра) и пик-детектора по значениям корреляционной функции.

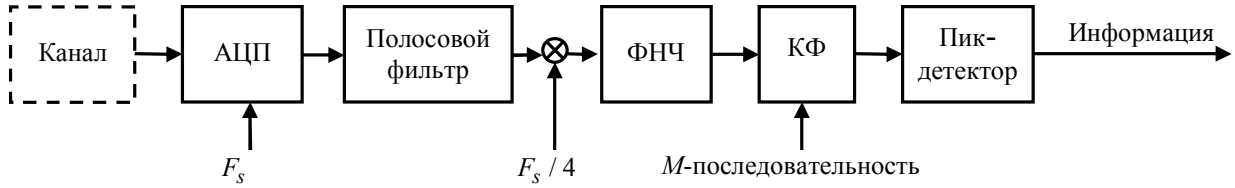


Рис. 2

Рассмотрим преобразования сигнала в тракте приемопередатчика в отсутствие шумов. На рис. 3 показан фрагмент фазоманипулированного сигнала с наложенной *M*-последовательностью. Преобразования спектра сигнала в тракте представлены на рис. 4.

Пусть частота следования чипов равна F_M. Тогда спектр фазоманипулированного сигнала имеет ширину главного лепестка $B_M = 2F_M$ и 2 боковых лепестка шириной по $B_{\text{side}M} = F_M$ (рис. 4, *а*). Чтобы выделить такой сигнал из шума, нужен специальный полосовой фильтр, частотная характеристика которого приблизительно повторяет огибающую спектра сигнала.

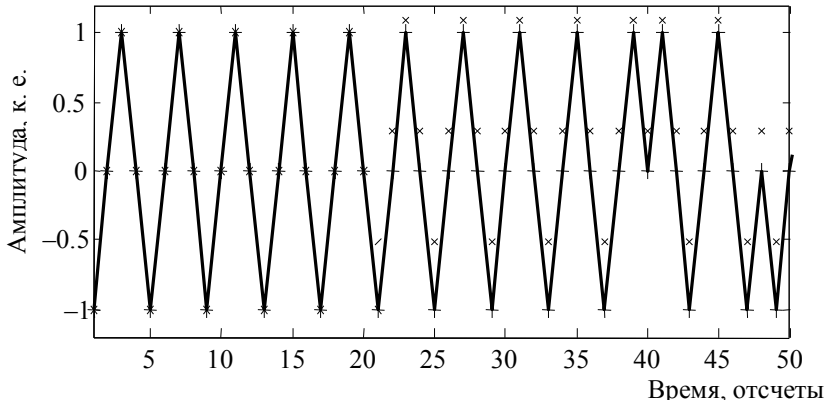


Рис. 3

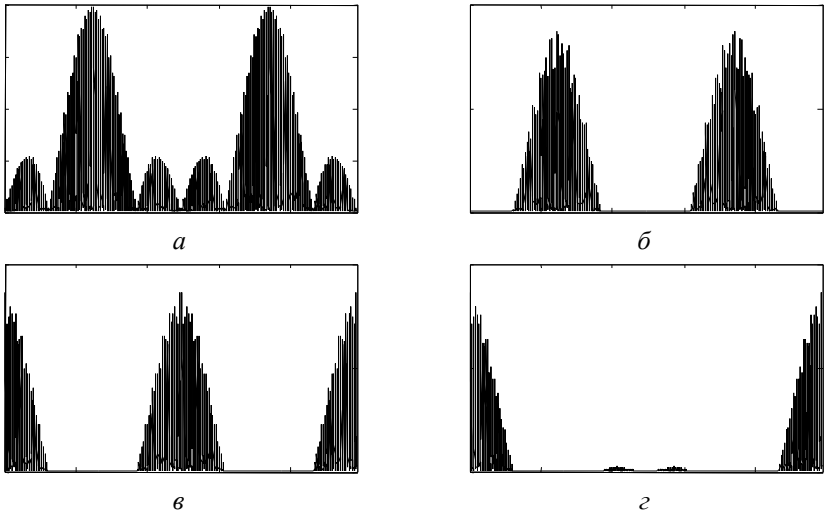


Рис. 4

Так как боковые лепестки спектра сигнала оказываются в зоне подавления фильтра (рис. 4, *б*), появляется эффект «заваливания фронтов»: на периодах ФМН-сигнала, соответствующих одиночным битам, амплитуды уменьшаются, в отличие от периодов, соответствующих сериям из одинаковых бит.

Дальнейшее восстановление сигнала из ШПС происходит переносом его с поднесущей частоты путем гетеродинирования (рис. 4, *в*) и фильтрации с помощью фильтра нижних частот (рис. 4, *г*).

Искажения, вносимые фильтрами, приводят к тому, что сигнал после умножения на *М*-последовательность вместо идеальной прямой линии выглядит так, как показано на рис. 5. В итоге теряется до 25 % энергии сигнала, что соответствует потерям в 2 дБ.

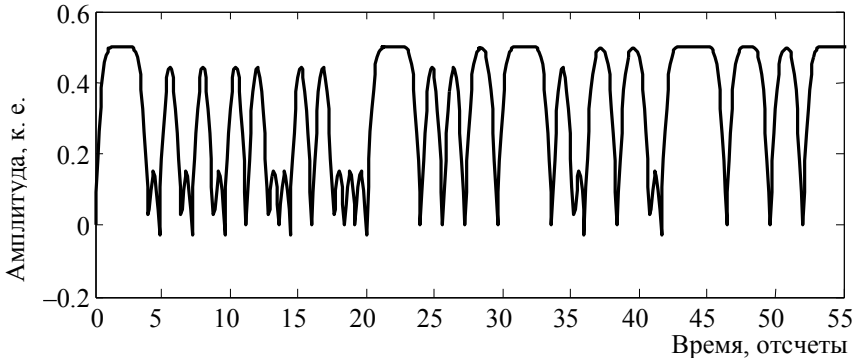


Рис. 5

Алгоритм оптимального приема может быть реализован на основе согласованных фильтров – корреляторов. Выходные отсчеты таких фильтров рассчитываются по формуле

$$R_j(k) = \sum_{i=0}^{N_M-1} x(k-i) f_{Mj}(N_M - i),$$

где $x(k)$ – k-й отсчет сигнала, прошедшего ФНЧ. Грубо говоря, корреляторы являются согласованными фильтрами в том смысле, что их импульсная характеристика, а соответственно и АФЧХ фильтра повторяют искомый сигнал – в данном случае f_{M0} и f_{M1}. Коррелятор поэлементно умножает пришедший с фильтра сигнал на M-последовательность и суммирует полученные произведения. По полученным результатам принимается решение об интерпретации сигнала как нуля или единицы. Тот факт, что сигналы являются противоположными по знаку – антиподными ($f_{M0}(i) = -f_{M1}(i)$), – упрощает схему, поскольку тогда в отсутствие шумов $R_0(k) = -R_1(k)$.

Это иллюстрируется рис. 6, где отображен результат прохождения сигнала, содержащего последовательно «0» и «1», через фильтр-коррелятор.

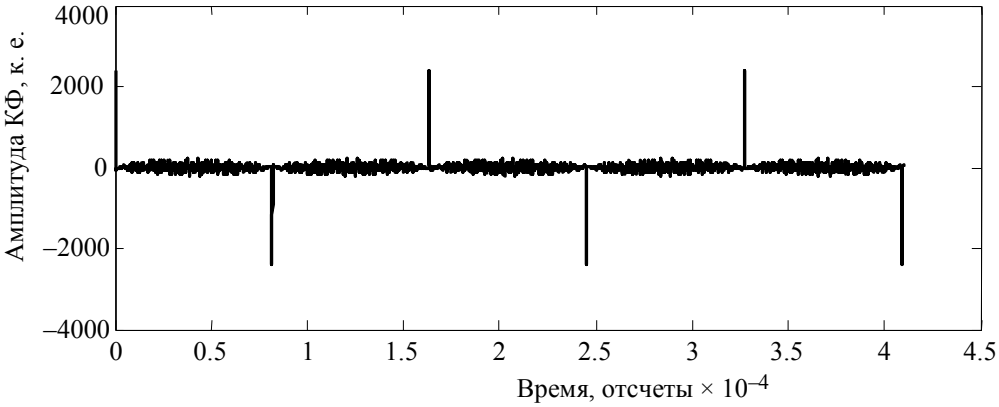


Рис. 6

Согласно теории боковые лепестки не должны превышать уровень $\frac{K_{\max}}{\sqrt{N_M}}$. Однако по результатам моделирования в тракте приема из-за неидеальных характеристик фильтров и искажения спектра гетеродинированного сигнала при его дискретизации главный пик уменьшается примерно на 6 дБ относительно теоретического значения.

Необходимо отметить, что главные пики АКФ имеют треугольную форму шириной не менее двух периодов частоты следования чипов M-последовательности, т. е. 16 отсчетов частоты дискретизации.

Для проверки возможности декодирования бит в условиях помех примем, что в канале присутствует белый аддитивный гауссовский шум. В качестве *критерия эффективности* используемого алгоритма выберем длину интервала между верхней границей шума и нижней границей сигнала (далее – *резервный интервал*) – тот запас, который позволяет либо работать при большем уровне шумов, либо гарантировать более высокую надежность обнаружения при неточно установленном пороге, уходе частоты, дрейфе параметров схемы и т. д. Результаты эксперимента представлены в таблице.

Отношение сигнал/шум на входе, дБ	Минимальная амплитуда сигнала, $\times 10^6$	Максимальная амплитуда шума, $\times 10^5$	Ширина резервного интервала, дБ
0	2,06	1,57	22,34
–2	2,01	1,94	20,33
–4	2,00	2,46	18,19
–6	1,92	2,53	17,61
–8	1,94	4,99	11,83
–10	1,80	4,67	11,73
–12	1,80	5,50	10,22
–14	1,69	7,55	7,01
–16	1,60	8,53	5,48

Из рис. 7 видно, что вследствие дисперсии главных пиков возможно их уменьшение в 2…3 раза при одновременном увеличении шумовых составляющих АКФ. При многократном повторении опыта отношение сигнал/шум по выходу коррелятора не опускается ниже 6 дБ (при отношении на входе –16 дБ), что можно считать предельным значением для надежного порогового выделения.

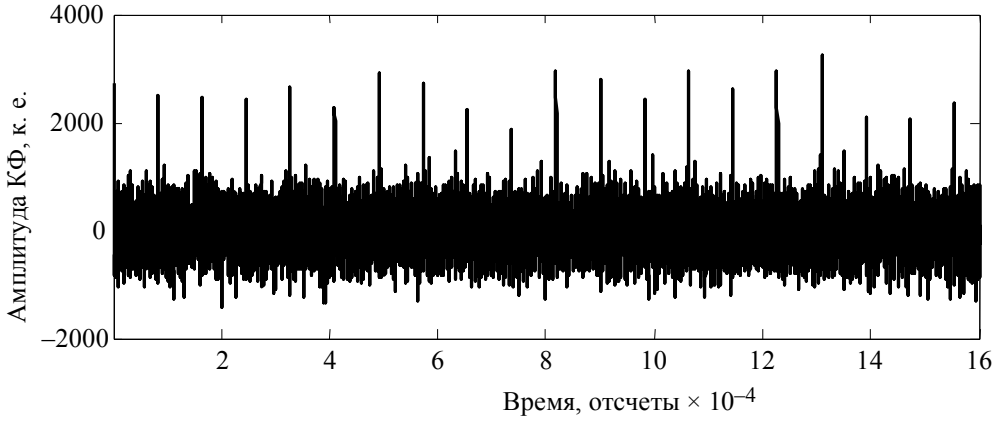


Рис. 7

Оценка соотношения сигнал/шум на выходе коррелятора, которое достигается без предварительной очистки сигнала полосовым фильтром, показывает, что отказ от использования полосового фильтра может дать более чем двукратное (6 дБ) увеличение корреляционных пиков.

Поскольку начало *М*-последовательности передатчика не согласовано с началом *М*-последовательности приемника, между передающим и приемным сигналами всегда присутствует какой-то начальный фазовый сдвиг, проявляющийся в искажении формы сигнала. Максимальная амплитуда сигнала теперь зависит от величины сдвига. Через $\pi/2$ радиан амплитуда восстанавливается. Рассогласование фаз приемного и передающего сигналов легко ликвидируется с помощью классической двухканальной схемы демодуляции. Если возникает фазовый сдвиг, взаимодополняющие друг друга синусная и косинусная составляющие не позволяют ему разрушить корреляцию.

Главный недостаток нововведения заключается в том, что одной *М*-последовательностью теперь нельзя кодировать одновременно «0» и «1», так как при сложении корреляционных функций невозможно будет отличить корреляционный пик, кодирующий «0», от корреляционного пика, кодирующего «1». Поэтому приходится использовать две *М*-последовательности.

Из-за эффекта Доплера и разброса параметров опорных генераторов поднесущие частоты пришедшего сигнала и ожидаемые в приемнике могут различаться, что приводит к модуляции детектированного сигнала. Если рассогласование мало и на длине *М*-последовательности набег

фазы не превысит ±π, модуляция детектированного сигнала приведет к модуляции пиков КФ сигналом разностной частоты, что не скажется на результате сложения квадратурных каналов. При большем рассогласовании максимальное значение пиков КФ уменьшится и исправить ситуацию за счет квадратурных каналов уже не удастся. Во-вторых, при переходе колебания разностной частоты через ноль происходит скачкообразный переворот фазы принимаемой *М*-последовательности. После этой точки оставшаяся часть *М*-последовательности начинает разрушать уже накопленную корреляцию.

Перечисленные эффекты существенно сужают резервный интервал, но самым важным является то, что изменение частоты дискретизации приводит еще и к изменению длины опорной *М*-последовательности. Несогласованность длин означает, что прием очередной последовательности будет сопровождаться постоянно накапливающимся временным сдвигом и, как следствие, потерей связи.

Таким образом, требуется модифицировать исходные параметры тракта для увеличения резервного интервала.

Коэффициент корреляционного усиления можно повысить за счет увеличения длины *М*-последовательности. Чтобы сохранить битовую скорость передачи, *М*-последовательностью кодируется комбинация из двух бит информационного сообщения. При этом количество *М*-последовательностей увеличивается до четырех. Естественно, это повышает сложность программ обработки и затраты ресурсов ПЛИС, однако дает выигрыш в 3 дБ.

Для сокращения аппаратных затрат и повышения отношения сигнал/шум на выходе можно воспользоваться тем, что половину отсчетов частоты гетеродина составляют нулевые отсчеты. Поскольку в косинусном канале нулевые отсчеты соответствуют всем четным отсчетам входного сигнала, а в синусном – нечетным, чтобы не производить умножения на ноль, можно сразу разделить входную последовательность на четные и нечетные составляющие. Тогда в опорном сигнале исключить нулевые отсчеты можно, уменьшив частоту дискретизации опорного сигнала в 2 раза. После разделения отсчетов сигнала на четные и нечетные ширина пика в каждом канале составит 8 отсчетов. Можно воспользоваться этим и считать КФ не подряд, а через заданное число точек, что существенно сократит аппаратные затраты.

Если приемнику известен момент начала фазы ПСП в сигнале, то нет необходимости строить КФ на всей длине ПСП. Для корректного распознавания пиков (и поддержания синхронизма) достаточно строить КФ на 1/100 длины ПСП. Однако остается проблема входа в синхронизм. Приемлемым вариантом является последовательный поиск пиков на различных реализациях ПСП со сдвигом фазы [2]. Для этого достаточно выбрать некую начальную фазу заранее (длина ПСП известна очень точно) и строить отрезки КФ одинаковой длины, но с разным сдвигом относительно выбранного начала. Таким образом, например, имея возможность строить КФ длиной 1/50 от длины ПСП, при отсутствии помех вход в синхронизм займет не более 50 передач ПСП.

На основании изложенных результатов принято решение о следующих параметрах реализуемого радиоканала:

– расширение спектра методом прямой последовательности;

– кодирование каждой пары бит одной из четырех *М*-последовательностей;

– длина *М*-последовательностей – 1023 чипа;

– применение схемы с разделением отсчетов – квадратурный канал;

– вычислять только каждый третий отсчет КФ;

– применение ФНЧ без умножителей;

– вхождение в синхронизм пошаговым алгоритмом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985.

2. Ипатов В. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. М.: Техносфера, 2007.

D. V. Minenkov

DESIGN OF DIGITAL SIGNAL PROCESSING UNIT FOR LONG DISTANCE COMMUNICATION SYSTEM ON THE BASIS OF PSEUDONOISE SEQUENCES

The problem of choosing the parameters of DSP of broadband communication system is solved to meet the requirements for data transfer rates, signal / noise ratio and the resources of the FPGA, which implements the channel. The results of simulation of channel with the parameters from the initial specification and selected as a result of the work are shown.

Pseudo noise sequence, broadband radio, matched filter, digital signal processing

УДК 621.396

Ю. А. Бычков, С. В. Щербаков, А. А. Шумаков

СУЩЕСТВОВАНИЕ И ЕДИНСТВЕННОСТЬ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С НЕРАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Предложен вычислительный алгоритм исследования существования и единственности решений уравнений динамики нелинейных электрических цепей с неравномерно распределёнными нестационарными параметрами. Математическую основу алгоритма составляет аппарат обобщённых функций, обобщённых преобразований Лапласа и функционально-степенных рядов.

Нелинейные электрические цепи, существование и единственность решения, неравномерно распределённые нестационарные параметры, шаг расчёта, функционально-степенные ряды, преобразования Лапласа, обобщённые функции

Постановка задачи. Расчёт динамики детерминированных нелинейных электрических цепей с неравномерно распределёнными нестационарными параметрами в логико-математическом смысле неразрывно связан с задачей определения существования и единственности искомых решений уравнений динамики таких цепей в том или ином классе функций. В случае когда расчёт носит исключительно аналитический характер и сводится к выполнению конечного числа математических операций, позволяя в итоге получить описание искомого решения в замкнутой аналитической форме, положительный ответ на вопрос о существовании и единственности искомого решения непосредственным образом следует из самой возможности получения такого описания. Если же расчёт носит приближённый характер, то актуальной является задача выделения математической взаимосвязи и организации проблемно-ориентированного взаимодействия субъективных параметров расчётной схемы и объективных показателей существования и единственности искомого решения. Результатом указанного

взаимодействия является автоматизация отражения в значениях и характере изменения параметров расчётной схемы, объективных условий существования и единственности искомого решения. Задачу о существовании и единственности, в классе обобщенных функций при заданных граничных и начальных условиях, искомых решений уравнений динамики детерминированных нелинейных электрических цепей с неравномерно распределёнными нестационарными параметрами можно решать посредством исследования сходимости повторных функционально-степенных рядов для этих составляющих решений [1], [2]. В этом случае факт сходимости степенного ряда, напрямую указывая на существование искомого решения, к которому он сходится, корректно и математически логично согласует факт существования решения с возможностью его описания сходящимся функционально-степенным рядом. Расчёт уравнений динамики выделенного класса электрических цепей с помощью функционально-степенных рядов рассматривается в работе [3]. В настоящей статье предлагается дополнить результаты работы [3] процедурой исследования существования и единственности в классе обобщённых функций решения уравнений динамики нелинейных электрических цепей с неравномерно распределёнными нестационарными параметрами.

Динамику детерминированных нелинейных электрических цепей с неравномерно распределёнными нестационарными параметрами в ограниченных интервалах по t (время) и по x (пространственная координата) в общем случае описывает следующее нелинейное дифференциальное уравнение в частных производных:

$$A(\partial t;\partial x)z(t;x) \;=\; G(\partial t;\partial x)f(t;x)+H(z,t,x)\,, \qquad (1)$$

где $A(\partial t;\partial x)$ – квадратная матрица порядка L с полиномиальными от операторов ∂x и ∂t элементами, причём коэффициенты этих полиномов в общем случае представляют собой функции времени t или пространственной координаты x, описывающие, соответственно, нестационарные по t или неравномерно распределённые по x параметры цепи; $G(\partial t;\partial x)$ – прямоугольная матрица с полиномиальными от операторов ∂x и ∂t элементами; $H(z,t,x)$ – матрица-столбец, строки $H_u(z,t,x),\ u\in[1;L]$ которой содержат суммы произведений искомых решений, внешних воздействий и их производных любого порядка в произвольных дробно-рациональных степенях; $z(t;x)$ и $f(t;x)$ – матрицы-столбцы искомых решений и внешних воздействий. Дополнительно заметим, что матрица $A(\partial t;\partial x)$ уравнения (1) такова, что её элементы содержат операторы старших частных производных уравнения (1), соответственно, по t (время) и по x (пространственная координата) и не содержат операторов смешанных производных. Рассматриваемая расчётная схема анализа уравнений динамики электрических цепей с распределёнными параметрами, описываемых с учётом вышеуказанных ограничений уравнением (1), при заданных граничных $z_l(t;0)$ и начальных $z_l(0;x)$ условиях и с заданным уровнем локальной предельной абсолютной погрешности расчёта $\varepsilon(h)$ состоит из двух частей: аналитической и численной. В рамках аналитической части формируется описание искомого решения $z_l(t;x),\ l\in[1;L]$ в виде следующей обобщённой функции:

$$z_l(t;x)=z_l^-(t;x)+z_l^+(t;x)\,, \qquad (2)$$

где $z_l^-(t;x)$ – сингулярная составляющая искомого решения, описываемая как сумма произведений с некоторыми весовыми коэффициентами импульсных функций $\delta(t)$ и $\delta(x)$ или их обобщённых производных определённых порядков; $z_l^+(t;x)$ – регулярная составляющая искомого решения. Регулярную составляющую $z_l^+(t;x),\ l\in[1;L]$ искомого решения $z_l(t;x)$ уравнения (1) описывает повторный функционально-степенной ряд двух независимых переменных, для которого используются его следующие две эквивалентные формы представления:

$$z_l^+(t;x)=\sum_{i=0}^{\infty}R_{l.i}(t)\frac{x^i}{i!}, \tag{3}$$

$$R_{l.i}(t)=\sum_{j=0}^{\infty}R_{l.j}^{[i]}\frac{t^j}{j!} \tag{4}$$

и

$$z_l^+(t;x)=\sum_{i=0}^{\infty}R_{l.i}(x)\frac{t^i}{i!}, \tag{5}$$

$$R_{l.i}(x)=\sum_{j=0}^{\infty}R_{l.j}^{[i]}\frac{x^j}{j!}. \tag{6}$$

Степенной ряд (4) при $i=0$ описывает, соответственно, заданные граничные $z_l(t;0)$ условия, а степенной ряд (6) при $i=0$ описывает, соответственно, заданные начальные $z_l(0;x)$ условия. Форма описания (3) регулярной составляющей решения $z_l^+(t;x),\ l\in[1;L]$ используется для выполнения шага расчёта по независимой переменной t (время), а форма (5) – для выполнения шага расчёта по независимой переменной x (пространственная координата).

Реализация аналитической части расчётной схемы анализа уравнений динамики цепей выделенного класса начинается с приведения уравнения (1) к виду, допускающему использование обобщённого интегрального преобразования Лапласа. С этой целью из соответствующих элементов матрицы $A(\partial t;\partial x)$ выделяются нестационарные и неравномерно распределённые параметры, а каждая из строк $H_u(z,t,x),\ u\in[1;L]$ матрицы $H(z,t,x)$ приводится к аналогичному (3) виду. Описание подобных преобразований можно найти в работе [3]. Выполнив для исходного описания уравнения динамики (1) все необходимые операции и далее последовательно два интегральных преобразования Лапласа, относительно независимых переменных t и x получим:

$$A^*(p;q)Z(p;q)=G(p;q)F(p;q)\ +\ Q(p;q)\ +\ T(p;q), \tag{7}$$

где $A^*(p;q)$, $G(p;q)$ – матрицы, полученные из исходных матриц $A^*(\partial t;\partial x)$, $G(\partial t;\partial x)$ заменой операторов дифференцирования ∂t и ∂x на комплексные переменные, соответственно, p и q; $Z(p;q)$ и $F(p;q)$ – матрицы-столбцы изображений координат и внешних воздей-

ствий; $Q(p;q)$ – матрица-столбец начальных и граничных условий; $T(p;q)$ – матрица-столбец, полученная из матрицы $T(t;x)$ после её преобразования по Лапласу. Решив по правилу Крамера линейное алгебраическое уравнение (7), найдём изображение искомого решения $z_l(p;q),\ l\in[1;L]$ уравнения (1). Восстановив с помощью свойств преобразования Лапласа по известным изображениям $z_l(p;q),\ l\in[1;L]$ их оригиналы $z_l(t;x),\ l\in[1;L]$, получим описание (2) искомого решения уравнения (1).

Численная часть рассматриваемой расчётной схемы анализа уравнений динамики электрических цепей с распределёнными параметрами предназначена для вычисления с заданным уровнем $\varepsilon_l(h)$ локальной предельной абсолютной погрешности, приближённых значений регулярной составляющей решения $z_l^+(t;x),\ l\in\left[1;L\right]$ уравнения (1). Приближённые значения вычисляются для дискретных значений независимых переменных времени $t=t_k,\ t\in[t_0;T]$ и пространственной координаты $x=x_k,\ x\in[x_0;X]$. Пусть для определённости в рамках аналитической части была полученная форма (3) описания регулярной составляющей решения $z_l^+(t;x)$, которая обеспечивает возможность выполнения шага расчёта по независимой переменной t (время). Выбрав величину шага расчёта h_t и ограничив ряды Тейлора (4), при $t=h_t$ полиномами Тейлора, порядки $I_l^{[i]}$ которых соответствуют заданному уровню $\varepsilon_l(h)$ локальной предельной абсолютной погрешности расчёта, вычисляют приближённые значения $R_{l.i}(h_t;I_l^{[i]})$ коэффициентов $R_{l.i}(t)$ степенного ряда (3):

$$R_{l.i}(h_t;I_l^{[i]})=\sum_{j=0}^{I_l^{[i]}}R_{l.j}^{[i]}\frac{h_t^j}{j!}. \tag{8}$$

Вычисленные согласно равенствам (8) приближённые значения $R_{l.i}(h_t;I_l^{[i]})$ коэффициентов $R_{l.i}(t)$ степенного ряда (3) соответствуют дискретным значениям независимых переменных $t=t_{k+1}=t_k+h_t$ и $x=x_k$, $k=0,1,2,\ldots$. При этом заметим, что равенство (8) при $i=0$ определяет приближённое значение $z_l^+(t;x;I_l^{[0]})=R_{l0}(h_t;I_l^{[0]})$ регулярной составляющей искомого решения $z_l^+(t;x),\ l\in\left[1;L\right]$, соответствующее вышеуказанным дискретным значениям независимых переменных. С учётом полученных результатов расчёта (8) степенной ряд (3), изначально являющийся рядом двух независимых переменных, трансформируется в следующий степенной ряд относительно одной независимой переменной:

$$z_l^+(h_t;x;I_l^{[i]})=\sum_{i=0}^{\infty}R_{l.i}(h_t;I_l^{[i]})\frac{x^i}{i!}. \tag{9}$$

Степенной ряд (9) описывает, причём приближённым образом, изменение относительно независимой переменной x начального условия для следующего шага расчёта. При этом, руководствуясь постановкой задачи анализа уравнений динамики цепей выделенного класса, для реали-

зации следующего шага расчёта наряду с начальным условием необходимо знание и граничного условия. Граничное условие для следующего шага расчёта может быть определено следующим образом. Как уже отмечалось, степенной ряд (4) при $i = 0$ описывает заданное граничное условие $z_l(t;0)$ для текущего шага расчёта, т. е. абсцисса точки разложения этого ряда $t = t_k$. Для смещения абсциссы точки разложения степенного ряда в новое дискретное значение независимой переменной $t = t_{k+1} = t_k + h_t$ используется известный приём вычисления приближённых значений функции и её производных конечных порядков по известному разложению этой функции в степенной ряд [1]. Для реализации этого приёма на основе операции последовательного дифференцирования степенного ряда (4) при $i = 0$ сначала формируют степенные ряды для производных функции $z_l(t;0)$ в следующем виде:

$$\frac{d^n z_l(t;0)}{dt^n} = \frac{d^n R_{l0}(t)}{dt^n} = \sum_{j=n}^{\infty} R_{l.j}^{[0]} \frac{t^{j-n}}{(j-n)!}, \qquad (10)$$

где $n = 0, 1, 2, \ldots$.

Как известно, все степенные ряды (10) имеют одинаковый радиус сходимости [1]. Вследствие этого величина шага расчёта $h = h_t$, выбранная ранее, гарантированно не превосходит радиусов сходимости всех степенных рядов (10), $n = 0, 1, 2, \ldots$, поскольку не превосходит радиуса сходимости степенного ряда (4) при $i = 0$. Располагая описаниями (10), посредством замены степенных рядов полиномами, порядки которых соответствуют заданному уровню $\varepsilon_l(h)$ предельной локальной абсолютной погрешности расчёта, вычисляют приближённые значения коэффициентов степенного ряда для граничного условия $z_l(t;0)$, причём абсцисса точки разложения этого степенного ряда теперь уже $t = t_{k+1} = t_k + h_t$.

Определением описаний приближённых начальных и граничных условий для следующего шага расчёта завершается процедура численной части предлагаемой расчётной схемы анализа уравнений динамики цепей выделенного класса. Далее ось аппликат переносят по t на величину выполненного шага расчета ($h = h_t$), и вышеописанная вычислительная процедура повторяется в рамках своих взаимосвязанных и взаимообусловленных частей: аналитической и численной. Заметим, что процедура численной части расчёта относительно независимой переменной x, реализуемая на основе формы (5) описания регулярной составляющей искомого решения $z_l^+(t;x)$, $l \in [1; L]$, полностью аналогична вышеописанной процедуре.

Существование и единственность решений уравнений динамики нелинейных электрических цепей с неравномерно распределёнными нестационарными параметрами. Сформулируем условия существования и единственности в интервалах исследования $t \in [t_0; T]$ и $x \in [x_0; X]$ при заданных граничных и начальных условиях регулярной составляющей $z_l^+(t;x)$, $l \in [1; L]$ искомого решения $z_l(t;x)$ уравнения (1). Пусть для определённости в рамках аналитической части было получено описание (3) с экспликацией (4), которое представляет собой описание регулярной составляющей искомого решения посредством следующего повторного функционально-степенного ряда:

$$z_l^+(t;x)=\sum_{i=0}^{\infty}\left[\sum_{j=0}^{\infty}R_{l.j}^{[i]}\frac{t^j}{j!}\right]\frac{x^i}{i!}. \qquad (11)$$

По определению, повторный функционально-степенной ряд (11) сходится, если сходятся по t все степенные ряды (4) и по x степенной ряд (3) [2]. В соответствии с процедурой численной части расчёта, выполняя шаг расчёта по t (время), исследуют сходимость степенных рядов (4). Исследования проводятся на основе изучения сходимости числовых мажорант степенных рядов (4) в соответствии с процедурой, изложенной в [4]. При этом определяются условия существования максимумов среди той или иной комбинации коэффициентов каждой из числовых мажорант степенных рядов (4). Определив, в результате исследования сходимости числовых мажорант степенных рядов (4), величины $\tau_l^{[i]}$ границ интервала сходимости этих рядов, вычисляют величину τ_l, которая служит нижней оценкой границы интервала сходимости $\left[t_k;t_k+\tau_l\right]$ по независимой переменной t всех степенных рядов (4). Указанная нижняя оценка τ_l, определяется следующим образом:

$$\tau_l=\min_i \tau_l^{[i]},\ i=0,\ 1,\ 2,\ \dots . \qquad (12)$$

В интервале $\left[t_k;t_k+\tau_l\right]$ сходятся, причём абсолютно и равномерно, все степенные ряды (4), обусловливая тем самым существование в указанном интервале всех частных производных по x от регулярной составляющей $z_l^+(t;x),\ l\in\left[1;L\right]$ искомого решения $z_l(t;x)$ уравнения (1) при $x=x_k$ [2]. Заметим, что каждое искомое решение $z_l(t;x)$ является лишь одним из элементов матричного решения $z(t;x)$ уравнения (1). Вследствие этого результаты (12), должны быть получены для всех регулярных составляющих искомых решений $z_r^+(t;x),\ r=1,\ 2,\ \dots,\ L$ уравнения (1). Используя эти результаты, вычисляют предельную величину τ шага расчёта уравнения динамики цепи по независимой переменной t. Непосредственно саму величину шага расчёта $h=h_t$ выбирают в соответствии с неравенством

$$h_t\le\tau,\tau=\min\tau_l,\ l=1,\ 2\dots . \qquad (13)$$

Выбрав величину шага расчёта $h=h_t$ и ограничив ряды Тейлора (4) при $t=h_t$ полиномами Тейлора, порядки $I_l^{[i]}$ которых отвечают заданному уровню локальной абсолютной погрешности расчёта и выбранному шагу расчёта, вычисляют приближённые значения $R_{l.i}(h_t;I_l^{[i]})$ коэффициентов $R_{l.i}(t)$ степенного ряда (3). В результате формируется степенной ряд (9), описывающий, как уже отмечалось, приближённым образом, изменение относительно независимой переменной x начального условия для следующего шага расчёта. Заметим, что для коэффициентов $R_{l.i}(t)$ степенного ряда (3) и вычисленных их приближённых значений $R_{l.i}(h_t;I_l^{[i]})$ выполняются следующие предельные соотношения:

$$\lim_{I_l^{[i]}\to\infty}R_{l.i}(h_t;I_l^{[i]})=R_{l.i}(t)_{|t=h_t}, \qquad (14)$$

где $i = 0, 1, 2, \ldots$.

В результате предельных переходов (14) степенной ряд (9) превращается в степенной ряд (3) при $t = h_t$. Вследствие этого в конце выбранного шага расчёта $h = h_t$, т. е. при $x = x_k$ и $t = t_{k+1} = t_k + h_t$, как некая неизвестная функция аргумента *x* существует точное начальное условие для следующего шага расчёта. Такое же заключение справедливо и для граничного условия вследствие выполнения следующих условий. Нестационарный коэффициент $R_{l.i}(t),\ i = 0$ степенного ряда (3) в пределах $t \in [t_k;\ t_k + h_t]$ описывается сходящимся степенным рядом (4) при $i = 0$. Тогда, вследствие сходимости в интервале $t \in [t_k;\ t_k + h_t]$ всех степенных рядов, являющихся результатом необходимого последовательного многократного дифференцирования сходящегося степенного ряда (4) при $i = 0$, для следующего шага расчёта при $x = x_k$ и $t = t_{k+1} = t_k + h_t$ существует точное граничное условие как некая неизвестная функция аргумента *t* [1]. Таким образом, выполненный на текущем шаге по *t* (время) численный расчёт приближённых начальных и граничных условий для следующего шага расчёта в информационном и математическом плане взаимосвязан с фактом существования для этих начальных и граничных условий точных значений.

Предположим, что следующий шаг расчёта выполняется по независимой переменной *x* (пространственная координата). Тогда после выполнения аналитической части расчёта для описания регулярной составляющей $z_l^+(t;x),\ l \in [1;\ L]$ искомого решения $z_l(t;x)$ уравнения (1) при $t = t_{k+1} = t_k + h_t$ и $x = x_k$ будет получено равенство (5), которому сопутствует экспликация (6). Выбор по *x* шага расчёта $h = h_x$ в рамках реализации численной части расчёта осуществляется по аналогичной и вышеописанной схеме: исследуется сходимость числовых мажорант степенных рядов (6) и посредством неравенства, аналогичного (13), результаты исследований обобщаются, обусловливая определение величины шага расчёта h_x. В пределах выбранного по *x* шага расчёта $h = h_x$ в интервале $x \in [x_k;\ x_k + h_x]$ сходятся, причём абсолютно и равномерно, все степенные ряды (6), обусловливая тем самым существование в этом интервале при $t = t_{k+1}$ всех частных производных по *t* от регулярной составляющей $z_l^+(t;x),\ l \in [1;\ L]$ искомого решения $z_l(t;x)$ уравнения (1) [1].

Для вычисляемых приближённых значений $R_{l.i}(h_x;\ I_l^{[i]})$ коэффициентов $R_{l.i}(x)$ степенных рядов (6) выполняются следующие, аналогичные (14) предельные соотношения:

$$\lim_{I_l^{[i]} \to \infty} R_{l.i}(h_x;\ I_l^{[i]}) = R_{l.i}(x)_{|x=h_x}, \qquad (15)$$

где $i = 0, 1, 2, \ldots$.

Вследствие выполнения предельных соотношений (15) в конце выбранного по *x* шага расчёта $h = h_x$, т. е. при $t = t_{k+1} = t_k + h_t$ и $x = x_{k+1} = x_k + h_x$, как некая неизвестная функция аргумента *t*, для которой справедливо представление сходящимся степенным рядом (5), при $x = h_x$ существует точное граничное условие для следующего шага расчёта. Такое же заключение справедливо и для неизвестного точного начального условия для следующего шага расчёта. Таким образом, выполненный на текущем шаге по *x* (пространственная координата)

численный расчёт приближённых начальных и граничных условий для следующего шага расчёта в информационном и математическом плане взаимосвязан с фактом существования неизвестных точных начальных и граничных условий.

Формы (3) и (5) описания регулярной составляющей $z_l^+(t;x),\ l \in [1;L]$ искомого решения $z_l(t;x)$, используемые, соответственно, на k-м шаге расчёта по t и на (k + 1)-м шаге расчёта по x обладают однозначно определённой математической взаимосвязью. Эта взаимосвязь такова, что коэффициенты степенного ряда (6) при $i = 0$, формируемого на (k + 1)-м шаге расчёта по x, совпадают с коэффициентами степенного ряда (9), который формировался на k-м шаге расчёта по t. Так как в пределах выбранного по x (k + 1)-го расчёта $h = h_x$ сходится абсолютно и равномерно степенной ряд (6) при $i = 0$ и, следовательно, степенной ряд (9), то, учитывая предельные соотношения (14), в пределах этого шага сходится по x абсолютно и равномерно степенной ряд (3) при $t = h_t$.

Итак, в интервале $t \in [t_k;\ t_k + h_t]$ сходятся абсолютно и равномерно все степенные ряды (4), а в пределах выбранного по x шага расчёта $h = h_x$ сходится абсолютно и равномерно степенной ряд (3) при $t = h_t$. Таким образом, при указанных условиях сходится повторный функционально-степенной ряд (11), указывая на существование при $t = t_{k+1}$ в интервале $x \in [x_k;\ x_k + h_x]$ регулярной составляющей $z_l^+(t;x),\ l \in [1;L]$ искомого решения $z_l(t;x)$ уравнения (1). Исследуемая на k-м и (k + 1)-м шагах расчёта сходимость повторного функционально-степенного ряда (11) и доказанное на этой основе существование регулярной составляющей $z_l^+(t;x),\ l \in [1;L]$ искомого решения $z_l(t;x)$ носят так называемый линейно-осевой характер [2]. Иначе говоря, исследование сходимости соответствующих степенных рядов, равно как и сама процедура численного расчёта уравнения динамики цепи, реализуются линейно-пошаговым образом, причём исключительно по координатным осям независимых переменных t и x. При этом выбираемые по ходу расчёта длины шагов по t и x, а также используемая стратегия очерёдности дискретизации этих независимых переменных обусловливают выделение на «фазовой поверхности», соответствующей уравнению (1) при заданных граничных и начальных условиях, вполне определённой и единственно возможной «траектории» движения «изображающей точки» расчёта [1], [2]. Указанная «траектория» отображает движение «изображающей точки» численного расчёта от её начального положения с координатами $t = t_0$ и $x = x_0$ до конечного – с координатами $t = T$ и $x = X$. Важно, что при изменении длин шагов и (или) стратегии очерёдности дискретизации независимых переменных «траектория» меняется, обусловливая своё индивидуальное по количественным показателям, но по-прежнему «линейно-осевое» по характеру решение задачи исследования существования искомого решения. При такой процедуре исследования существования искомого решения не ставиться и не решается задача выделения в координатных осях независимых переменных t и x области или всех возможных областей сходимости повторного функционально-степенного ряда (11). В рамках описанного подхода задача исследования существования регулярной составляющей $z_l^+(t;x),\ l \in [1;L]$ искомого решения $z_l(t;x)$ уравнения (1) решается в непосредственной взаимосвязи с пошаговым способом численного расчёта этой составляющей решения и с учётом свойств

повторных степенных рядов, используемого для её описания. Вследствие этого формируемое «знание» о существовании точного решения, как это и необходимо при практических вычислениях алгоритмически обусловливает и математически определяет «возможность» получения приближённого решения с помощью выбранных средств расчёта. Далее описанная процедура исследования существования регулярной составляющей искомого решения уравнения (1) повторяется для всех дискретных значений независимых переменных $t \in [t_0;\, T]$ и $x \in [x_0;\, X]$.

Единственность как свойство искомого решения может быть исследована исходя из того, что разложение функции $z_l^+(t;x),\ l \in [1;\, L]$ в сходящийся функционально-степенной ряд (11) носит единственно возможный характер [1], [2]. Иначе говоря, если для описания регулярной составляющей $z_l^+(t;x),\ l \in [1;\, L]$ искомого решения $z_l(t;x)$ уравнения (1) возможно сформировать несколько различных повторных функционально-степенных рядов и в интервалах $t \in [t_0;\, T]$ и $x \in [x_0;\, X]$ имеет место сходимость двух или более из них, то это служит необходимым и достаточным условием существования неединственного решения $z(t;x)$ уравнения (1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воднев В. Г., Наумович А. Ф., Наумович Н. Ф. Математический словарь высшей школы. М.: Изд-во МПИ, 1988. 527 с.
2. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. М.: Наука, 1970. Т. II. 800 с.
3. Бычков Ю. А., Щербаков С. В., Шумаков А. А. Вычислительный алгоритм анализа динамики нелинейных нестационарных электрических цепей с неравномерно распределенными параметрами с помощью функционально-степенных рядов// Радиоэлектроника. 2009. № 4. С. 5–19.
4. Бычков Ю. А., Щербаков С. В. Расчёт математических моделей динамических систем аналитически-численным методом. СПб.: Технолит, 2008. 299 с.

Ju. A. Bychkov, S. V. Scherbakov, A. A. Shumakov

EXISTANCE AND UNIQUENESS OF DYNAMIC EQUATION OF NONLINEAR ELECTRIC CIRCUITS WITH NONUNIFORMLY DISTRIBUTED UNSTABLE ARGUMENTS

The computing analysis algorithm of existence and uniqueness of nonlinear unstable electric circuits with nonuniformly distributed arguments is offered. The mathematical basis of algorithm is made with a generalized function, Laplace transform and formal power series.

Nonlinear electric circuits, existence and uniqueness of solution, unstable nonuniformly distributed arguments, step of calculation, formal power series, Laplace transform, generalized function

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

УДК 681.32

Е. Л. Калишенко, Ю. А. Королев,
Д. В. Крестелев, М. Ф. Филиппов

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СБОРКИ И ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОЕКТОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ ПЛАТФОРМ

Постановка задачи создания системы сборки программных продуктов: особенности и требования. Общая схема предлагаемой системы сборки и описание ее подсистем. Реализация процессов автотестирования, распределенной компиляции и выпуска готовых программных продуктов. Эффект от внедрения системы в процесс разработки программного обеспечения.

Система сборки программных продуктов, автотестирование, контроль версий программных проектов

Разработка программного обеспечения (ПО) представляет собой сложный процесс, направленный на создание и поддержание качества и надежности программных продуктов (ПП) на основе методов и технологий из управления проектами, программной инженерии и других областей знания. При разработке ПО возникает необходимость в получении из исходных текстов программ готового к использованию продукта. Этот процесс называется сборкой ПП и на современном этапе выполняется в автоматизированном виде.

По мере роста объема проектов и числа используемых средств разработки возникает необходимость в организации распределенного процесса сборки, т. е. в передаче вызовов компилятора и компоновщика множеству компьютеров для повышения скорости сборки. Распределенный процесс сборки должен обладать определенной логикой, чтобы правильно определить зависимости в исходном коде для выполнения этапов компиляции и компоновки на разных машинах. Кроме того, часто возникает необходимость в поддержке кросс-компиляции, т. е. в создании исполняемого кода для платформы, отличной от той, на которой код разрабатывается.

Таким образом, система автоматизированной сборки должна выполнять следующие функции: компиляция исходных текстов программ, их последующая компоновка, выполнение модульных тестов, разворачивание программы на производственной платформе, регу-

лярные сборки для своевременного выявления проблем, поддержка управления зависимостями исходного кода, генерация отчетов о результатах компиляции и компоновки, статусе сборки, результатах прохождения тестов.

Схема предлагаемой системы сборки. Для обеспечения выдвинутых требований предлагается схема автоматизированной сборки ПП, представленная на рис. 1.

Система ориентирована на сборку ПП из исходного кода на языке C++ под Linux-системой. Предлагаемую систему автоматизированной сборки и тестирования проектов можно условно разделить на три основные части.

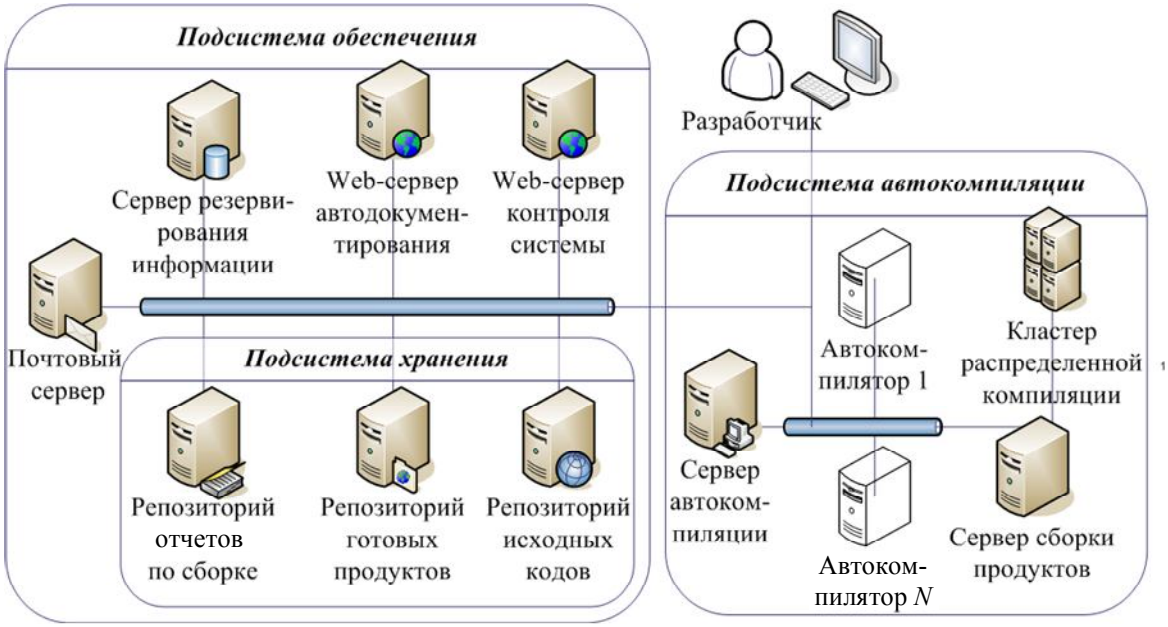


Рис. 1

1. *Подсистема обеспечения:* определяет инфраструктуру системы, отвечает за предоставление исходных кодов проектов и хранение результатов сборки и тестирования. С точки зрения разработчика основной функцией подсистемы является предоставление удобного web-интерфейса контроля и управления системой.

2. *Подсистема хранения:* структурно является частью подсистемы обеспечения и отвечает за хранение входных (исходные коды проектов) и выходных (отчеты, собранные продукты) данных. Каждый из трех репозиториев является самодостаточным хранилищем соответствующих артефактов процесса разработки:

● репозиторий исходных кодов призван обеспечивать контроль версий исходных кодов и документации к проектам;

● репозиторий готовых продуктов основан на стандартных средствах формирования репозитория приложений в Linux-системах. Представляет собой хранилище готовых приложений в формате rpm;

● репозиторий отчетов по процессу сборки хранит результаты периодического автоматизированного тестирования всех проектов и сборки продуктов.

3. *Подсистема автокомпиляции:* предназначена для преобразования исходного кода в готовый ПП, пригодный к установке на целевой платформе, и включает в себя:

● сервер автокомпиляции, осуществляющий контроль процессов сборки продуктов – именно он принимает запросы на сборку релиза продукта под заданные целевые платформы и сохраняет результаты сборки в виде программных библиотек;

● набор автокомпиляторов – комбинаций операционной системы, набор библиотек и компилятор, необходимые для сборки ПП. На каждый автокомпилятор ложится вся нагрузка по автоматизированной сборке и модульному тестированию для определенной целевой платформы;

● серверы распределенной компиляции – вспомогательные узлы, организованные в кластер компиляторов исходных кодов при помощи одного из средств распределенной компиляции (например, distcc); выполняют преобразование присланного на адрес узла исходного кода в объектные файлы и отправку их клиенту;

● сервер сборки продуктов – выделенный узел получения готовой к установке программы (обычно формата rpm) для сохранения в репозиторий готовых продуктов и поставки заказчику.

Таким образом, автоматизированная система сборки представляет собой достаточно сложный аппаратно-программный комплекс взаимодействующих подсистем, скрытых от разработчика за web-интерфейсом управления и контроля. Описание процессов взаимодействия подсистем, представляющих основной интерес с точки зрения технологии разработки ПО, рассмотрим более подробно.

Инфраструктура системы сборки. *Почтовая рассылка.* Служит для предоставления разработчикам возможности отслеживать состояние проекта, в разработке которого они принимают участие, посредством электронных писем, содержащих информацию о создании очередного релиза или отчет по результатам модульного тестирования в случае его неуспешного прохождения. Почтовая группа формируется для каждого проекта на почтовом сервере и прописывается в его конфигурационном файле.

Резервное копирование. Сервер резервирования информации хранит данные на RAID-массивах и использует специальное ПО для управления резервным копированием через web-интерфейс (например, BackupPC). Данные, подлежащие резервированию, включают: виртуальные машины, репозиторий исходных кодов, собранные исходные коды (скомпилированные библиотеки), репозиторий готовых ПП.

Хранение исходных кодов. Репозиторий исходных кодов осуществляет не только централизованное хранение исходных кодов, но и предоставляет ряд дополнительных возможностей: web-интерфейс для просмотра репозитория (например, WebSVN); разграничение прав на изменение исходных кодов; контроль изменения кодов (запрет на добавление программного кода, не соответствующего стандарту кодирования, и т. д.).

Web-сервер контроля результатов и управления должен обеспечивать: контроль результатов сборки ПП; текущий контроль состояния проектов (статистика результатов модульного тестирования); выполнение обслуживающих операций (удаление старых артефактов, сборка rpm с последующим добавлением их в репозиторий и т. д.).

Web-сервер автодокументирования проектов должен обеспечивать периодическую генерацию документации к проектам с использованием средства автодокументирования (например, doxygen) для удобства просмотра иерархии классов исходного кода.

Автокомпиляция проектов. Подсистема автокомпиляции проводит компиляцию исходного кода в машинный код, компоновку машинного кода, сборку установочного файла в формате rpm. Использование распределенной компиляции при сборке проектов существенно сокращает время, затрачиваемое на получение конечного продукта.

В рассматриваемой системе получение готового продукта можно реализовать тремя способами:

● сборкой проекта по запросу – после внесения изменений в исходный код разработчик вручную запускает распределенную компиляцию проекта на всех доступных для выбранной архитектуры автокомпиляторах;

● запланированной сборкой – каждый автокомпилятор содержит список проектов, которые будут на нем компилироваться, и конфигурационный файл планировщика задач, описывающий время запуска автокомпиляции этих проектов;

● условной сборкой – запуск компиляции и сборки проекта осуществляется после фиксации каждого изменения исходного кода в репозитории, что позволяет уменьшить количество случайных ошибок и поддерживать продукт в работоспособном состоянии.

Использование системы сборки. Для управления сборкой отдельного ПП используется конфигурационный файл проекта, данные которого обеспечивают взаимодействие элементов системы и включают следующие переменные, характеризующие автоматизированное тестирование и сборку релизов: имя проекта; проекты-зависимости, от которых зависит данный проект; типы программных архитектур, на которых соответствующий проект должен тестироваться и собираться; профили компиляции и тестирования, поддерживаемые проектом; почтовая группа разработчиков, участвующих в разработке проекта.

На диаграмме состояний (рис. 2) можно проследить два основных пути автоматизированного процесса сборки и тестирования: периодическое автотестирование и сборка релиза продукта по запросу разработчика.

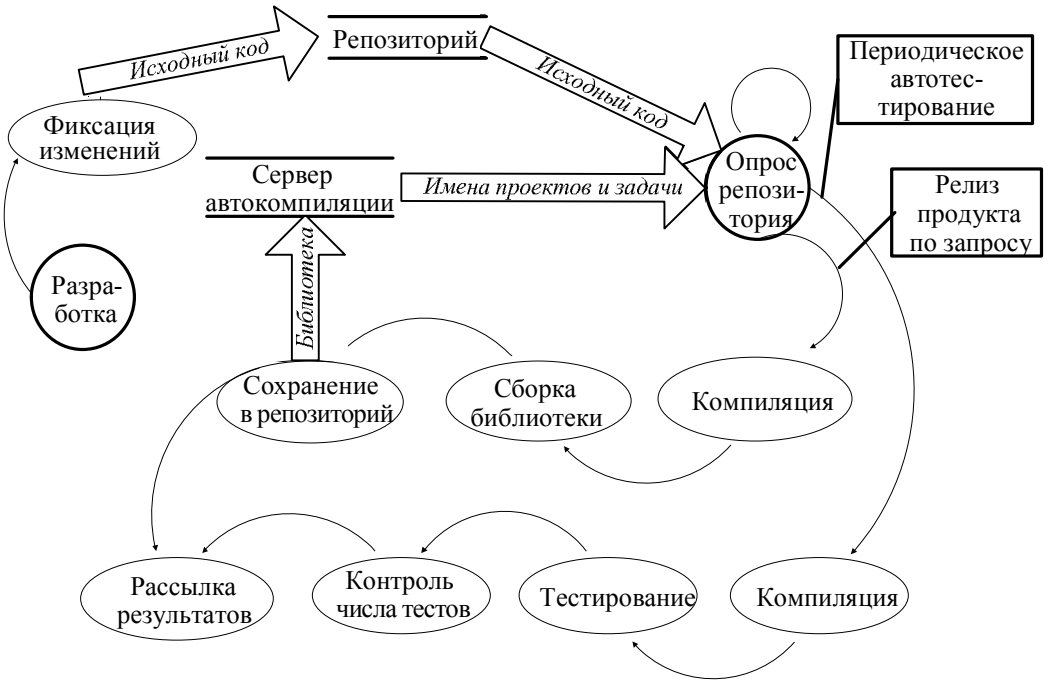


Рис. 2

Автоматизированное тестирование. С целью упрощения процесса и сокращения времени тестирования ПП в системе предлагается использовать библиотеку unit-тестов (например, cppunit) для выполнения тестов и проверки результатов их выполнения. На рис. 3 приведена схема потоков данных в системе для случая автотестирования.

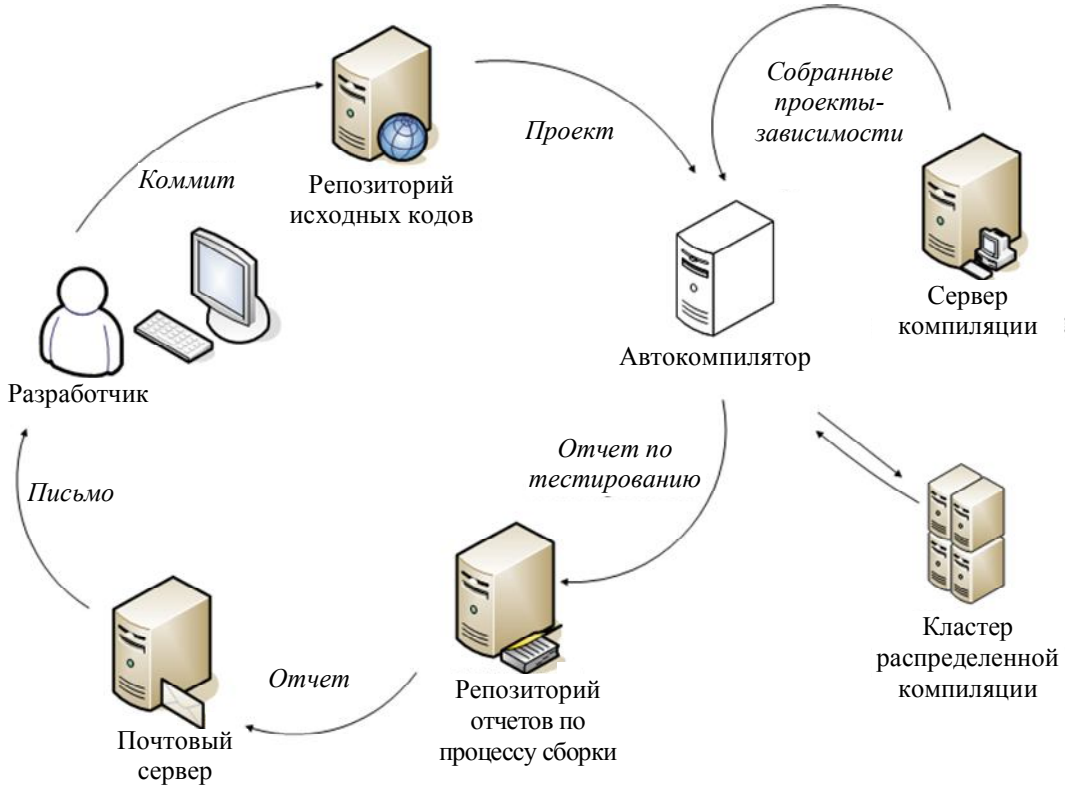


Рис. 3

Каждый автокомпилятор, выделенный под определенную архитектуру, периодически запрашивает список всех проектов, подлежащих автотестированию, с сервера, управляющего автокомпиляцией и тестированием. Для каждого проекта выполняются следующие действия.

1. Проект выгружается из репозитория исходных кодов.

2. Проверяется наличие архитектуры автокомпилятора в списке архитектур, поддерживаемых проектом. Если соответствующей архитектуры нет, то выполняется переход к тестированию следующего проекта. Если требуемая архитектура существует, то создается N директорий по числу профилей компиляции.

3. Последовательно выполняется компиляция для каждого профиля проекта, включающая следующие этапы:

● подготовка – с сервера автокомпиляции выгружаются готовые зависимости, которые были указаны в конфигурационном файле проекта;

● если текущая версия проекта уже была успешно протестирована ранее, происходит переход к следующему профилю;

● выполняется компиляция проекта;

● производится модульное тестирование с помощью CppUnit;

● результаты тестирования сохраняются в репозитории отчетов по процессу сборки и, в случае неуспешного тестирования, разработчики уведомляются об этом по электронной почте.

Выпуск релиза продукта. Неотъемлемой частью управления программными проектами является контроль версий. Каждый разрабатываемый проект должен иметь текущую версию, зависящую от определенных версий других проектов. Контроль версий позволяет решать ряд важных задач: поддержание целостности разработки группы проектов, сборка стабильных версий проектов, хранение собранных версий проектов.

Как видно из схемы работы системы сборки на рис. 2, выпуск релиза похож на процедуру автотестирования. По запросу разработчика на сервере автокомпиляции генерируются запросы на выпуск релиза определенного проекта на заданных платформах. После получения такой заявки автокомпилятор приступает к выгрузке исходных кодов, собранных ранее проектов-зависимостей и начинает сборку проекта. Этап сборки библиотеки проходит успешно только в случае прохождения всех модульных тестов, иначе релиз считается неуспешным и не сохраняется на сервере автокомпиляции. Независимо от результата, группа разработчиков проекта уведомляется о результатах выпуска релиза проекта.

Сборка rpm. Завершением выпуска ПП является сборка rpm-пакета, обеспечивающего легкую процедуру установки и обновления, а также возможность хранения нашего ПП в репозитариях готовых продуктов. Так как количество архитектур, под которые продукт выпускается, не ограничено, в системе сборки предлагается учитывать это путем использования утилиты кросс-компиляции (например, mock).

В заключение можно сказать следующее. Рассмотренная система автоматизированной сборки и тестирования поддерживает процесс разработки, начиная от компиляции исходного кода и заканчивая выпуском готового продукта в виде rpm-пакета. Важнейшим преимуществом данной системы перед аналогами является эффективное использование распределенной сборки, позволяющее наращивать производительность путем увеличения числа автокомпиляторов. Еще одним плюсом является нацеленность системы на поддержку кросс-компиляции, благодаря чему обеспечивается выпуск продуктов под различные платформы. Основные проекты, для работы с которыми система используется в настоящее время, реализуются на языке C++. Одним из возможных путей развития и доработки системы может служить исследование возможности ее применения для других языков программирования.

Благодаря внедрению этой системы, резко повысилось повторное использование кода, так как создание и поддержка библиотек и проектов-зависимостей перестали требовать огромного количества усилий. Кроме того, сократилась продолжительность цикла write-compile-run (т. е. цикла, состоящего из этапов написания кода, компиляции и запуска программы для тестирования). Данное улучшение особенно актуально для C++ и позволяет поднять эффективность труда разработчиков.

E. L. Kalishenko, Y. A. Korolev, D. V. Krestelev, M. F. Filippov

AUTOMATED PROJECT'S TESTING AND ASSEMBLYING SYSTEM FOR DIFFERENT PLATFORMS

Software build system development task solving, particularities and demands. General system structure, subsystems brief review. Detailed description of assembly, autotesting and release processes. The effect of implantation into the process of software development.

Software build systems, autotesting, version control system for software projects

УДК 681.32

С. В. Маевский, А. С. Романов

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ПОСТРОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИХ МНЕМОСХЕМ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Предлагается описание разработки на платформе Eclipse программных средств поддержки мнемосхем, ориентированных на использование в комплексах анализа летно-технических характеристик динамических объектов. Приводится описание функциональных требований к программным средствам, моделей иерархических мнемосхем, технологий их разработки, а также вариантов их использования.

Мнемосхема, модель, анализ ЛТХ, Eclipse, EMF, GEF, GMF

Более 10 лет ОАО «НИЦ СПб ЭТУ» занимается проблемами автоматизации анализа летно-технических характеристик (ЛТХ) средств ракетно-космической техники (РКТ) по результатам ракетных пусков. В последние годы создается система комплексного анализа результатов ракетных пусков (СКАРП), в которой большое внимание уделяется разработке программных средств (ПС), обеспечивающих возможность конструирования и редактирования алгоритмов анализа ЛТХ. В связи с этим был разработан и специфицирован подход, основанный на применении иерархических мнемосхем (МС).

Подход к анализу ЛТХ на основе мнемосхем предполагает иерархическое представление информации о задачах, методах, алгоритмах, функциях, операциях и данных по пуску. При этом предполагается использование МС в двух режимах: статическом – для задания последовательности выполнения операций по анализу ЛТХ, и динамическом – реализует процесс анализа с заданием необходимых данных, их обработкой и выдачей результатов.

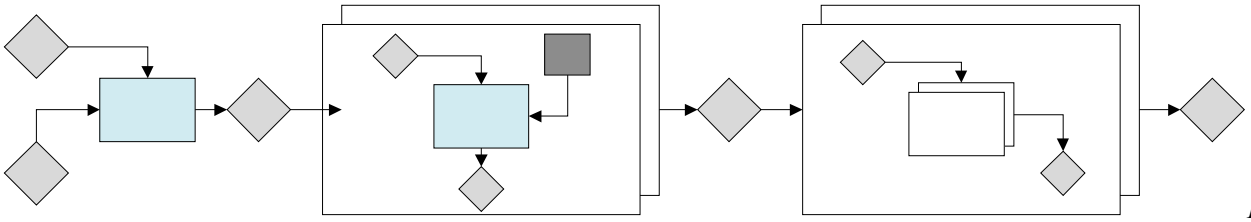
Иерархические мнемосхемы предназначены для обеспечения гибкости и увеличения наглядности процесса анализа ЛТХ. Программные средства поддержки мнемосхем входят в состав комплексов анализа ЛТХ и комплексов обучения анализу ЛТХ и должны обеспечивать:

- конструирование и редактирование иерархической структуры МС в соответствии с алгоритмом анализа;
- графическое отображение схемы алгоритма обработки данных;
- отображение динамики выполнения алгоритмов по шагам;
- задание и отображение исходных данных для алгоритмов обработки;
- управление режимом и ходом выполнения алгоритмов;
- просмотр и корректировка значений данных в контрольных точках алгоритма.

Мнемосхема состоит из элементов, которые подразделяются на «данные» (то, что обрабатывается) и «задачи» (то, что выполняет обработку). Данными являются всевозможные скалярные или векторные числовые значения, а также некоторые сущности предметной области, такие как циклограммы. Задачи используют эти данные для выполнения обработки на том или ином уровне и получения оценок ЛТХ. На каждом уровне задаче соответствуют свои входные и/или выходные данные.

Представлением иерархической мнемосхемы служит ориентированный граф, каждой вершине которого соответствует данное, простая или составная задача. Составная задача содержит в себе другие данные и задачи (возможно, и другие составные задачи) и таким обра-

зом реализует переход на следующий, более детальный уровень иерархии. На рис. 1 показано одно из возможных представлений мнемосхемы, в которой прямоугольники с одинарным и двойным контуром соответствуют простым и составным задачам, а ромбы и квадрат – данным различных типов.



Ри

с. 1

Для реализации ПС МС выбрана платформа Eclipse, поскольку она поддерживает механизм сборки приложений из отдельных плагинов, которые можно подключать и отключать в зависимости от требуемого функционала [1]. Еще одной из причин выбора Eclipse является то, что для этой платформы разработано множество готовых качественных плагинов, при использовании которых снижается время разработки ПС и повышается качество готового продукта. Исходя из требований к СКАРП, ПС МС должно быть выполнено в виде приложения Rich Client Platform (RCP), т. е. приложения с графическим интерфейсом пользователя (GUI), поэтому оно должно содержать такие необходимые элементы GUI, как главное меню, различные панели просмотра и редакторы. В ПС МС должны быть реализованы панель просмотра и изменения свойств выделенного элемента, панель навигатора между сеансами анализа, панель быстрого просмотра МС, а также редактор МС с палитрой элементов, содержимое которой изменяется в зависимости от подключенных к ПС плагинов, описывающих типы данных и задачи. Элементы GUI реализуются в виде плагинов и могут быть включены в приложение или исключены из него, что позволяет разрабатывать модули приложения независимо друг от друга и впоследствии объединять их. Пользовательский интерфейс приложения показан на рис. 2.

При разработке редактора МС использованы средства автоматической генерации исходного кода по описанию метамодели. Метамодель определяет элементы, из которых может состоять модель, их атрибуты и ограничения, накладываемые на элементы модели.

Чтобы воспользоваться средствами генерации исходного кода, метамодель описывается на языке ECORE, и это описание поступает на вход генераторам классов, разработанных в рамках проектов EMF (Eclipse Modeling Framework) и GEF (Graphical Editing Framework).

Результатом работы EMF-генератора является система классов на языке Java, описывающих элементы модели – структуры МС. При помощи GEF-генератора создаются классы, описывающие внешнее представление элементов модели. Для того чтобы связать модель элементов и их представление, были использованы фрэймворк GMF (Graphical Modeling Framework) и его средства генерации кода. На основе описания метамодели МС на языке ECORE и файла конфигурации, в котором указываются требуемые функции редактора, построен базовый графический редактор моделей. Этот редактор позволяет задавать структуру МС, создавать и связывать элементы МС на нескольких уровнях иерархии. Редактор выполнен как RCP-приложение, которое является основой для наполнения ПС МС требуемой функциональностью.

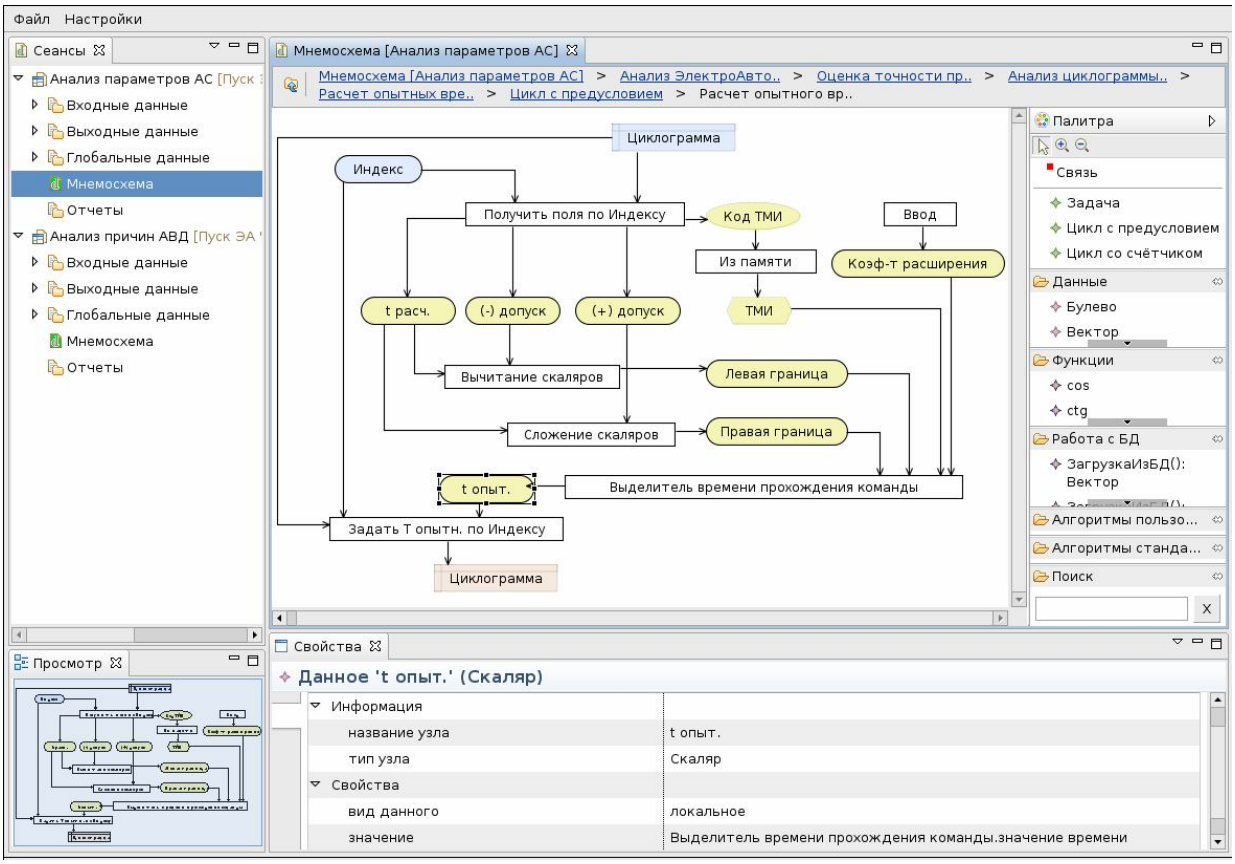


Рис. 2

В результате использования средств EMF разрабатывается метамодель МС, позволяющая представить структуру иерархической мнемосхемы. Данная метамодель дополняется вычислительной моделью МС, определяющей сущности предметной области (данные и задачи), их взаимосвязи и поведение в рамках описания динамических свойств мнемосхемы:

- связывание элементов и задание связей типа «источник-приемник значения»;
- хранение значений математических типов данных;
- определение и выполнение математических операций.

Вычислительная модель МС основывается на классах выполняемых узлов (DataNode, TaskNode, CompoundTaskNode). Объекты этих классов содержатся в соответствующих узлах EMF-модели и инкапсулируют логику выполнения элементов мнемосхемы:

- узел-функция (TaskNode) соответствует простой задаче, задает вычислительную операцию и набор входных и выходных ячеек – именованных типизированных параметров, определяющих сигнатуру функции;
- узел-данное (DataNode) является контейнером значения математического либо иного определяемого предметной областью типа и связывается с ячейками узлов-функций;
- узел-задача (CompoundTaskNode) соответствует составной задаче и связывает соседние уровни иерархии в МС. Узлам-данным, расположенным на вложенном уровне, ставятся в соответствие ячейки узла-задачи, которые связываются с узлами-данными на текущем уровне.

Для определения математических типов данных и вычислительных операций разрабатываются java-интерфейсы (ITemplateValueType и ISimpleFunc), которые унифицируют представление этих сущностей и реализуются в классах, разрабатываемых в рамках библио-

теки математических методов (БММ). Математические типы и операции организуются в виде плагинов, снабжаются XML-описанием и подключаются к ПС МС с помощью механизма точек расширения (extension-point) [2].

При связывании структурных элементов мнемосхемы также создаются связи на уровне вычислительной модели МС. При выполнении МС на основе этих связей происходит пересылка значений между узлами МС. Выполнение МС подразумевает последовательное выполнение готовых к запуску вычислительных узлов МС, которое включает в себя получение значений от узлов-источников, выполнение заданных математических операций, формирование выходных значений и пересылка их узлам-потребителям.

В ПС МС предусмотрено несколько режимов выполнения мнемосхемы:

• автоматический режим – последовательное выполнение всех узлов МС;

• пошаговый режим – выполнение на каждом шаге одной готовой к запуску простой задачи (операции);

• полуавтоматический режим. В этом режиме возможны следующие варианты:

– выполнение всей МС;

– выполнение одного уровня иерархии МС или одной составной задачи;

– выполнение всех узлов, являющихся прямыми или косвенными источниками данных для некоторого узла.

Кроме того, имеется возможность задания контрольных точек (КТ) у некоторых узлов МС. Если включен режим использования КТ, то в полуавтоматическом режиме перед запуском узла МС, для которого задана КТ, выполнение МС прерывается и оператор имеет возможность просмотреть данные, которые были сформированы к моменту выполнения узла.

При выполнении МС в пошаговом или полуавтоматическом режиме после каждого действия отображается актуальное состояние узлов МС, т. е. по виду и свойствам элементов МС оператор может определить, был ли узел выполнен, готов ли он к запуску или нет. Кроме того, при выполнении МС оператор имеет возможность просмотреть и изменить значения данных в выполненных узлах. Возможность отображения и редактирования значений любого типа достигается за счет того, что при определении нового типа данных в БММ также реализуются и соответствующие компоненты GUI. При изменении значения в узле-данном в режиме выполнения происходит сброс состояния выполненности узлов, которые прямо или косвенно зависят от этого значения. Также имеется возможность сброса состояния выполненности по требованию пользователя.

В ПС МС реализована возможность сохранения алгоритмов, представленных мнемосхемой или ее частью. Сохраненный алгоритм отображается на палитре как самостоятельный элемент, который может быть многократно вставлен в произвольную часть любой МС.

Описанные функции ПС поддержки МС позволяют наглядно представлять в иерархическом виде структуру и процессы выполнения различных алгоритмов проведения анализа ЛТХ. Архитектура программы предусматривает возможность подключения новых модулей библиотеки математических методов, а также дальнейшего наращивания функциональности ПС. Разработанные программные средства используются в составе аппаратно-программных комплексов, предназначенных для решения задач анализа ЛТХ средств ракетно-космической техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамма Э., Бек К. Расширения ECLIPSE: принципы, шаблоны и подключаемые модули. М.: Кудицобраз, 2005. 384 с.

2. Кирьянчиков В. А., Бочкарев И. В. Разработка библиотеки математических методов для программного средства поддержки мнемосхем анализа характеристик динамических объектов. // Наст. сб. С 55–60.

S. V. Maevskij, A. S. Romanov

THE DEVELOPMENT OF MNEMONIC DIAGRAMS SUPPORT SOFTWARE FOR THE VISUALIZATION OF THE ALGORITHMS OF THE DYNAMIC OBJECTS CHARACTERISTICS ANALYSIS

The mnemonic diagrams support software using in the aircraft performance characteristics analysis is considered. The functional requirements description, hierarchical mnemonic diagrams models and the usecases of mnemonic diagrams support software are discussed.

Mnemonic diagrams, model, aircraft performance characteristics analysis, Eclipse, EMF, GEF, GMF

УДК 681.32

В. А. Кирьянчиков, И. В. Бочкарев

РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ МНЕМОСХЕМ

Рассматриваются вопросы создания библиотеки математических методов на базе платформы Eclipse. Предлагается архитектура библиотеки, основанная на механизме плагинов и точек расширения. Также приводятся рекомендации по тестированию компонентов библиотеки, расширению ее функциональности и сопровождению.

Библиотека математических методов, Eclipse, анализ ЛТХ, мнемосхема

Одной из важных и конкурентоспособных отраслей отечественной промышленности является построение и использование средств ракетно-космической техники (РКТ). Разработка и внедрение средств РКТ неизбежно связаны с проведением серии пусковых испытаний, во время которых собираются результаты измерений, характеризующих поведение узлов и агрегатов ракеты в процессе пуска и полета. Как во время полета ракеты, так и после его завершения (успешного или аварийного) по данным полученных измерений выполняется расчет характеристик функционирования основных узлов ракеты и их сравнение с допусками, соответствующими нормальному (штатному) полету. Этот процесс называется анализом летно-технических характеристик (ЛТХ) ракеты и является основным средством выявления причин аномального поведения тех или иных узлов, позволяющим своевременно устранять неисправности в их работе и повышать качество и стабильность производства средств РКТ.

Поведение узлов ракеты в процессе полета описывается сложными математическими соотношениями, а используемые при анализе ЛТХ данные измерений сопровождаются сильными искажениями (особенно в наиболее важных для анализа аварийных ситуациях). Все это приводит к тому, что для обеспечения требуемой точности оценок ЛТХ и сокращения времени формирования заключений по причинам выявленных неисправностей требуется разработка и использование сложных программных комплексов, осуществляющих как проведение всех расчетов, так и поддержку принятия решений в процессе анализа ЛТХ.

По этим причинам перед ОАО «НИЦ СПб ЭТУ» была поставлена задача разработки системы комплексного анализа результатов пусков (СКАРП), в которой основное внимание отводится обеспечению программно-аппаратной поддержки решения задач анализа ЛТХ.

Наиболее удобным средством поддержки анализа является графическое схематичное представление алгоритмов анализа, наглядно отображающее основные этапы, функции или операции анализа и ход их выполнения. Это представление реализуется на основе мнемосхем. Мнемосхема – графическая модель, отображающая динамически изменяющуюся функциональную схему, задающую алгоритм вычислений. Представлением мнемосхемы служит ориентированный граф, содержащий наборы данных и действия по их обработке.

Задачи создания и редактирования мнемосхем были возложены на программное средство поддержки мнемосхем (ПС МС). Для проведения анализа ЛТХ необходимо обеспечить связывание компонентов мнемосхемы с данными и математическими операциями, в результате чего возникает необходимость создания программных средств библиотеки математических методов (ПС БММ), реализующих эти операции.

ПС БММ предназначено для обеспечения выполнения математических операций при реализации алгоритмов анализа ЛТХ и должно выполнять следующие функции:

- вычисление арифметических операций над данными различного вида;
- вычисление функций математического анализа;
- выполнение тригонометрических преобразований;
- выполнение специализированных функций цифровой фильтрации;
- вычисление функций математической статистики;
- поддержка подключения к библиотеке дополнительных математических функций;
- связывание компонентов мнемосхем с данными;
- связывание компонентов мнемосхем с библиотечными операциями;
- обеспечение независимости интерфейса от представления данных и библиотечных операций.

При разработке ПС БММ возникла необходимость в изучении некоторых математических библиотек, чтобы понять их функциональность, типы данных и архитектурную организацию. При выборе библиотек для изучения следовало руководствоваться рядом критериев, которые обусловлены требованиями к разрабатываемому ПС БММ, а также требованиями к процессу его разработки:

- библиотеки должны быть реализованы на языке Java;
- библиотеки должны содержать необходимые для выполнения анализа ЛТХ функции и типы данных;
- предпочтительно использовать библиотеки, содержащие юнит-тесты, снабженные подробной документацией и примерами использования;
- предпочтительно использовать библиотеки, созданные и проверенные в разработках ОАО «НИЦ СПб ЭТУ».

В результате анализа библиотек было принято решение о том, что при разработке ПС БММ следует использовать библиотеки ru.spb.nicetu.math и org.apache.commons.math:

- ru.spb.nicetu.math – библиотека, разработанная в ОАО «НИЦ СПб ЭТУ». Она содержит множество специализированных функций и типов данных, используемых при анализе ЛТХ средств РКТ;

• org.apache.commons.math – библиотека, разработанная Apache Software Foundation. Содержит множество функций для решения задач из различных областей математики.

При разработке СКАРП согласно техническому проекту для организации рабочего пространства и конфигурирования GUI у типового программного комплекса анализа ЛТХ рекомендуется использовать платформу Eclipse на языке Java.

Платформа Eclipse – это расширяемая платформа, которая поддерживает широкий спектр инструментов для работы на языках Java, C, Python, работы с web-технологиями и использования различных форматов данных [1]. Кроме того, среда Eclipse позволяет автоматизировать создание различных видов документации, нацелена на групповую разработку и снабжена средствами для работы с системами контроля версий. В силу бесплатного доступа и высокого качества Eclipse является корпоративным стандартом для разработки приложений во многих организациях.

В качестве единицы модульности платформа Eclipse использует плагин – минимально возможный устанавливаемый программный компонент [2]. Каждый плагин может (но не обязан) объявлять точки расширения (*extension-point*), которые определяют возможности его функционального расширения другими плагинами. Таким образом, функциональность приложения в соответствии с концепцией Eclipse обеспечивается его компоновкой из различных плагинов, использованием существующих расширений и добавлением новых точек расширения.

Данный механизм позволяет проектировать ПС БММ на основе принципов модульности. Все компоненты библиотеки математики следует разделить на две категории: типы данных и функции. На рис. 1 показана структура ПС БММ и ее связи как с ПС МС, так и с рассмотренными ранее математическими библиотеками. Стрелками обозначены зависимости между модулями, типы данных и функции зависят от соответствующих точек расширения, описанных в ядре ПС МС.

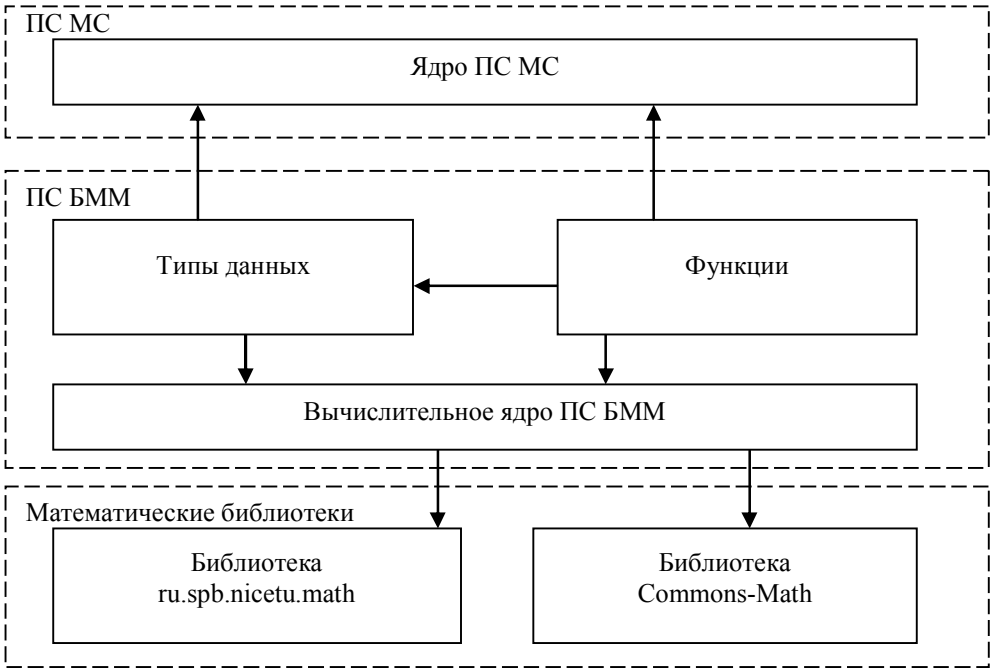


Рис. 1

Такой способ организации библиотеки решает сразу несколько проблем, он позволяет:

• разработчику ПС анализа ЛТХ полностью задавать набор типов и функций, которые войдут в палитру редактора мнемосхем; при этом не требуется писать код, достаточно лишь указать, какие типы и функции должны туда войти;

• определить спецификацию типа данных или операции, что, с одной стороны, учитывает требования пользователя БММ к разрабатываемым компонентам, а с другой – полезно при проведении тестирования;

• пользователям библиотеки использовать описанные типы и функции при создании мнемосхем, даже если их реализация еще не готова; это может быть полезно при параллельной разработке новых компонентов БММ и комплексов анализа;

• повторно использовать код разработанных компонентов, что снижает трудозатраты и увеличивает надежность.

Ключевым моментом архитектуры подключаемых компонентов (плагинов), как упоминалось ранее, является наличие точек расширения и самих расширений. В общем случае расширения размещаются в различных плагинах и впоследствии объединяются с помощью методов сборщика, реализуемых разработчиками точек расширений. Для реализации описанного выше взаимодействия между ПС БММ и ПС МС необходимо наличие точек расширения типов данных и функций на стороне ПС МС, а также механизма сборки расширений.

Для эффективной работы программистов по расширению функциональности ПС МС следует использовать описание точек расширения в виде иерархических структур, называемых схемами точек расширения (*extension point schema*) [1]. Они представляют собой файлы XML с описанием характерных для компонентов БММ свойств. Такие схемы позволяют декларировать новые библиотечные типы данных и функции, указывая их названия, классы реализации и другие атрибуты. К примеру, для библиотечных типов можно указать класс реализации элемента GUI, который войдет в состав ПС МС и будет служить для отображения значений этого типа данных. Для библиотечной функции описывается набор входных и выходных параметров, их названия и типы данных.

Как отмечалось ранее, основная роль ПС БММ для ПС МС заключается в создании и подключении необходимых для работы ПС МС операций и типов данных. Для решения этой задачи необходимо создать механизм сборки расширений на стороне ПС МС. Его задача состоит в нахождении всех библиотечных типов данных и функций, информация о которых доступна из расширений, и связывании их с узлами мнемосхем.

В результате создания точек расширения для типов данных и математических операций и механизма сборки расширений на стороне ПС МС будет сформирован программный интерфейс, необходимый ПС БММ. Таким образом, решается задача связывания элементов мнемосхем с библиотечными компонентами и обеспечения независимости интерфейса от представления данных и библиотечных операций. Благодаря использованию такого механизма подключения новых компонентов к ПС БММ расширение функциональности математической библиотеки не скажется на ее архитектуре и ранее разработанных модулях.

Для удовлетворения функциональных требований к ПС БММ следует разработать необходимые типы данных и математические функции. Для создания нового типа или операции разработчику следует создать XML-описание расширения для соответствующей точки расширения и задать значения атрибутам данного компонента. Также необходимо разрабо-

тать классы реализации типов и операций БММ, некоторые из которых требуют разработки новых классов. Их следует включить в вычислительное ядро ПС БММ. Вычисления выполняются путем обращения к вычислительному ядру, которое использует упомянутые ранее библиотеки ru.spb.nicetu.math и org.apache.commons.math.

Каждая математическая операция ПС БММ реализует проверку входных данных на корректность и при необходимости отправляет сообщение об ошибке. Отправку данного сообщения следует осуществлять с помощью механизма оповещения о ходе выполнения алгоритма. При получении сообщения от математической операции задача мнемосхемы инициирует его обработку, например вывод на консоль редактора мнемосхем.

На рис. 2 приведен пример использования БММ для интегрирования функции. Исходная функция обозначена цифрой *1*, а ее интеграл – цифрой *2*. Изображенные функции являются значениями соответствующего библиотечного типа данных. Для получения графика интеграла была использована библиотечная функция интегрирования, а для отображения графиков – библиотечный компонент GUI.

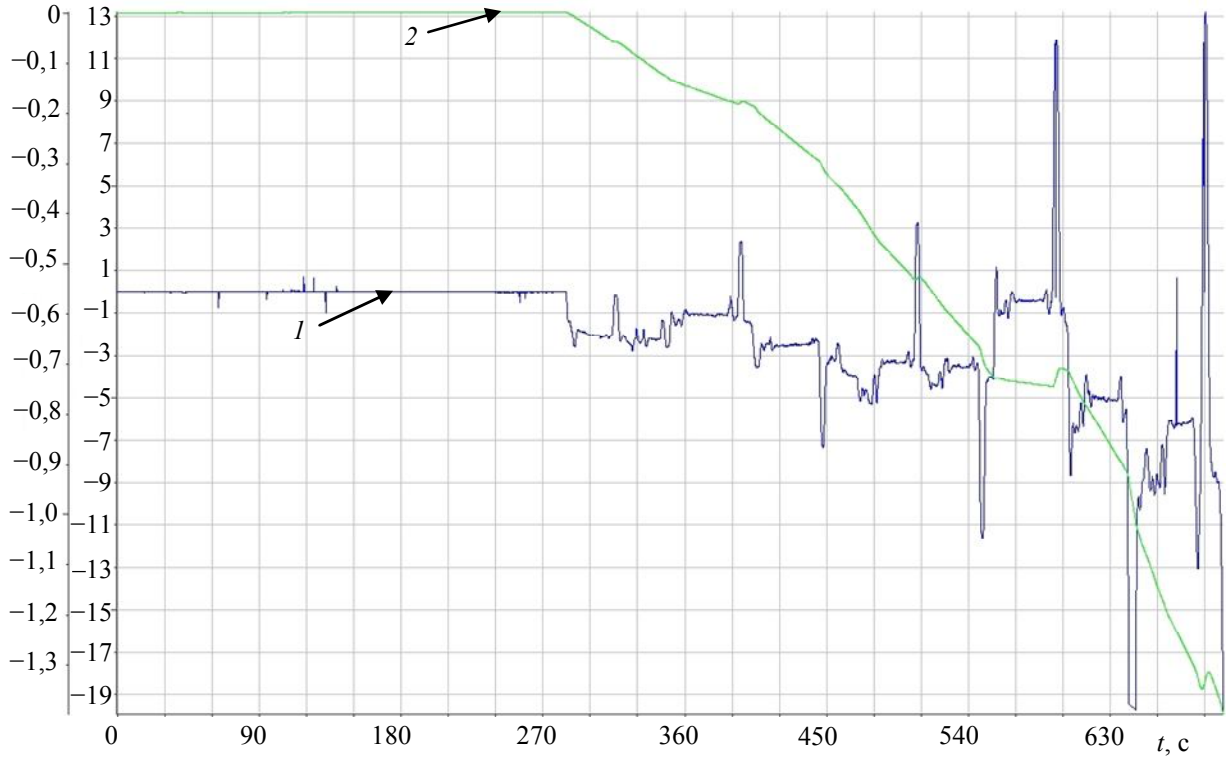


Рис. 2

Вычислительное ядро ПС БММ следует тестировать методом модульного тестирования при помощи библиотеки JUnit. Для этого необходимо создать тестирующие методы для вновь разработанных типов и операций. В ходе интеграционного тестирования следует протестировать все аспекты работы ПС БММ в контексте ПС МС. Для его проведения требуется разработать тестирующую мнемосхему, включающую в себя задачи, содержащие все вошедшие в состав БММ операции.

Описанный подход к созданию БММ позволяет удовлетворить все требования, предъявляемые к разработке, и способствует достижению высокой сопровождаемости проекта в будущем. Используемые архитектурные решения развивают БММ за счет добавления в нее новых функций и типов данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маевский С. В., Романов А. С. Разработка средств построения и использования иерархических мнемосхем для визуализации алгоритмов анализа характеристик динамических объектов. // Наст. сб. С. 51–55.

1. Гамма Э., Бек К. Расширения Eclipse: принципы, шаблоны и подключаемые модули. М.: Кудиц-образ, 2005. 384 с.

V. A. Kirianchikov, I. V. Bochkarev

THE DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL METHODS LIBRARY FOR THE MNEMONIC DIAGRAMS SUPPORT SOFTWARE

The details of the process of developing the library of mathematical methods are discussed. This library meant for use with special schemes displaying the structure and execution of dynamic system analysis algorithms. Development of the library is based on Eclipse platform. The article describes architecture of the library based on plug-ins and extension points mechanism. Recommendations are given for the library components testing, the library functionality increasing and maintenance.

Mathematical methods library, eclipse, mnemonic diagrams model

УДК 378.1:167

Ю. В. Воронов, Г. И. Дмитриев,
Е. А. Законников, В. А. Мейев

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НАУЧНОГО И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА УЧРЕЖДЕНИЙ МИНОБРНАУКИ РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ

Рассматриваются особенности разработки программного обеспечения системы мониторинга научного и образовательного потенциала подведомственных учреждений, реализованной в подразделении Министерства образования и науки РФ с использованием Интернет-технологий.

Система мониторинга, научный потенциал, образовательный потенциал, программное обеспечение

Основной целью создания системы мониторинга научного и образовательного потенциала подведомственных учреждений является обеспечение органов управления эффективным средством информационной и аналитической поддержки стратегического и оперативного планирования в сфере науки и образования для повышения эффективности управления научной и образовательной деятельностью подведомственных учреждений на основе ретроспективных и прогнозных оценок состояния и развития научного и образовательного потенциала высшей школы.

Особенностью системы мониторинга научного и образовательного потенциала учреждений Минобрнауки России является необходимость ввода пользователями значительных объемов числовой и текстовой информации (23 таблицы, порядка 900 параметров) и увязывания вводимых отдельных параметров в разных отчетных формах с использованием многооконного режима. В связи с этим наиболее рациональным является использование для подготовки и приема отчетов специализированных программных средств, сочетающих в себе технологию подготовки и анализа отчетов в режиме off-line и обеспечивающих автоматизированный on-line-обмен данными между участниками процесса подготовки и приема отчетов посредством web-приложений.

Разработанный программный комплекс системы мониторинга научно-образовательного потенциала подведомственных учреждений в своем составе имеет следующие основные программные модули:

• GENTASK – программный модуль подготовки структуры объектов БД и генерации программного модуля подготовки годового отчета (REPORT);

• REPORT – программный модуль подготовки годового отчета вуза (организации);

• RECEPTION – программный модуль для автоматизированной приемки отчетов подведомственных учреждений и формирования базы данных;

• BuildCollect – программный модуль для автоматизированной визуальной подготовки сложноструктурированных массивов агрегированных данных и создания печатных форм.

Программные модули связаны с централизованной базой данных, поэтому любое изменение структуры данных, сделанное в базе, автоматически отслеживается ими. Взаимодействие программных модулей представлено на рис. 1.

Рис. 1

В программном комплексе системы мониторинга научно-образовательного потенциала подведомственных учреждений реализованы два вида интерфейсов: универсальный, позволяющий формировать сложные, практически произвольные запросы, и специализированный, ориентированный на ускоренную обработку более простых видов запросов. Для упрощения работы пользователя с системой мониторинга обеспечена интеграция программных средств с текстовыми процессорами и электронными таблицами, такими, как MS WORD и MS EXCEL, что дает возможность использования их функциональных возможностей наряду с разработанным программным обеспечением. Предусмотрена также возможность интеграции аппаратно-программного комплекса с другими программными модулями, функционирующими в интрасети Минобрнауки России [см. лит.].

Комплекс по функциональному признаку можно разбить на две подсистемы: формирования программ сбора данных от подведомственных учреждений и обработки данных. Связь между ними осуществляется через централизованную базу данных.

В подсистеме формирования программ сбора данных от учреждений выполняется автоматизированное конструирование таблиц отчета, формирование структуры отчета и генерация программного модуля REPORT, предназначенного для автоматизированной подготовки годового отчета вуза (организации).

В подсистеме обработки данных выполняется семантический контроль корректности данных отчета, ввод параметров отчета в базу данных, формирование, ведение и системное обслуживание базы данных, а также формирование отчетных форм с агрегированными данными отчетов.

Перечисленные функции не ограничивают возможности данных подсистем комплекса по обработке данных. Функции подсистем могут быть дополнены и изменены в соответствии с новыми задачами обработки данных. Поскольку подсистемы связаны с централизованной базой данных, то любое изменение структуры данных, сделанное в базе, автоматически отслеживается всеми программными модулями подсистем.

Программный модуль REPORT позволяет выполнять следующие функции:

– обеспечение многооконной визуализации табличных форм отчета на экране монитора;

– ввод и редактирование числовых данных и текстовой информации;

– обеспечение автоматической генерации и рассылки пустых форм подотчетов удаленным структурным подразделениям вуза (организации) и получения подготовленных подотчетов через Интернет-соединения с последующим автоматическим присоединением данных из подотчетов в общий отчет;

– обеспечение импорта данных из некоторых таблиц с наиболее устойчивыми данными (мало меняющимися из года в год) из отчета вуза (организации) предыдущего года в формируемый отчет с последующей их коррекцией;

– анализ корректности и полноты заполнения табличных форм отчета;

– сохранение табличных форм с данными в виде архивированного файла, имеющего определенную структуру на винчестере или другом носителе информации;

– обеспечение автоматической отправки подготовленного отчета вуза (организации) через web-страницу сайта в базу отчетов структурного подразделения Минобрнауки России, непосредственно с рабочих мест или ручное выполнение этой операции с других компьютеров, имеющих выход в Интернет;

– обеспечение получения информации о ходе приемки отчета на web-странице вуза (организации);

– обеспечение автоматического приема данных по результатам контроля и согласования со стороны кураторов подразделения Минобрнауки России, занимающегося сбором отчетной информации;

– экспорт данных табличных форм в MS Word и MS Excel, а также получение печатной версии отчета для обеспечения доставки в подразделение Минобрнауки России, занимающееся сбором отчетной информации.

Получение программного модуля REPORT вузами обеспечивается через web-сайт. Программа инсталляции программного модуля REPORT обеспечивает корректную регистрацию данного программного приложения на компьютере пользователя для обеспечения взаимодействия программного модуля REPORT с уже установленными на данном компьютере программными средствами (браузерами, такими, например, как Internet Explorer, Mozilla Firefox, Opera, Safari и др.), обеспечивающими доступ к услугам Интернета.

Программный модуль RECEPTION для автоматизированной приемки отчетов вузов (организаций) и формирования базы данных позволяет в автоматизированном режиме выполнять следующие функции:

– автоматическую фиксацию факта прихода через web-страницу сайта очередного отчета от вуза (организации) в базу отчетов с помощью специальной подсистемы сканирования, оповещения и приема пришедших отчетов;

– автоматическую идентификацию вуза-источника, отправки отчета и направление поступившего отчета на рабочее место куратора структурного подразделения Минобрнауки России, за которым закреплен вуз или организация;

– распаковку, чтение и идентификацию архивов, содержащих отчеты, которые поступили от учреждений из подсистемы сканирования, оповещения и приема отчетов, содержащих файлы с формами отчетности;

– проведение с помощью подсистемы проверки отчета и принятия решений на основании автоматизированного контроля корректности поступивших данных, содержащихся в отчетах вузов, о принятии и сохранении их в базе отчетов;

– обеспечение анализа информации, представленной в отчете вуза (организации), по контрольным данным из других информационных систем Минобрнауки России;

– сравнение отдельных показателей с аналогичными показателями вуза (организации) за несколько предыдущих отчетных лет;

– обеспечение многооконного режима просмотра форм отчета и редактирования данных, содержащихся в отчетных материалах вузов, с последующей возможностью перепринять скорректированный отчет вуза (организации) в базу отчетов Минобрнауки России;

– ведение статистики процесса получения, проверки и принятия в базу отчетов на странице web-сайта, доступной для учреждений, направивших электронную версию отчета в Минобрнауки России, а также фиксацию прихода в подразделение Минобрнауки России печатной копии отчета;

– обеспечение автоматизированной подготовки и выставление на страницу web-сайта вуза (организации) писем, содержащих замечания, выявленные в ходе проверки отчета данного вуза (организации) и требующие его коррекции.

Программный модуль RECEPTION построен по блочному принципу и имеет в своем составе несколько программных блоков, взаимоувязанных в соответствии с разработанной методикой приема отчетных материалов.

Программный модуль BuildCollect для автоматизированной визуальной подготовки сложно-структурированных массивов агрегированных данных и создания печатных форм, для подготовки информационных материалов, статистических сборников, запросов, построен с использованием COM-автоматизации серверов MS Word и MS Excel пакета MS Office и позволяет выполнять следующие функции:

– конструирование в визуальном режиме отчетных таблиц произвольной формы;

– настройка ячеек таблиц на источники данных, задание расчетных формул;

– расчет данных в построенной таблице, визуализация и коррекция таблиц;

– установка фильтров на множестве источников данных;

– формирования печатных форм.

Программный модуль BuildCollect представляет собой программный продукт, обладающий свойствами визуального инструментария и не требующий перепрограммирования при подготовке новых вариантов печатных форм информационных материалов, а также специальных знаний в области языков запросов к базам данных.

Реализованное программное обеспечение системы мониторинга научного и образовательного потенциала подведомственных учреждений с использованием Интернет-технологий апробировано в подразделении Минобрнауки России, что обеспечило оперативное предоставление обобщенной информации о научной деятельности вузов и организаций в заданные сроки (в первом квартале года, следующего за отчетным) специалистам министерства для обеспечения эффективного управления и принятия обоснованных решений, основанных на современной методологии и методах образовательной и научной статистики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Автоматизированная информационная система по международному научно-техническому сотрудничеству вузов России / М. Н. Стриханов, О. Ю. Белаш, М. Н. Бер и др. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008.

Y. V. Voronov, G. I. Dmitriev, E. A. Zakonnikov, V. A. Meyev

SOFTWARE OF SYSTEM OF MONITORING OF SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL POTENTIAL OF ESTABLISHMENTS OF THE MINISTRY OF EDUCATION AND A SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION WITH USE THE INTERNET OF TECHNOLOGIES

It is considered features of development and realization the software of system of monitoring scientific and educational potential of the subordinated establishments, realized in division of the Ministry of Education and a science of the Russian Federation with use the Internet-technologies.

System of monitoring, scientific potential, educational potential, software

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

УДК 004.9

А. В. Экало, Э. А. Опалева, И. И. Холод, А. А. Лисс

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ В ЭЛЕКТРОННОМ ВИДЕ ДЛЯ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Определены основные требования к построению корпоративных информационных систем. Рассмотрены современные информационные технологии разработки веб-приложений на основе корпоративных информационных систем. Описано применение упомянутых технологий при разработке системы представления электронных документов в таможенные органы.

Корпоративная информационная система, трехзвенная архитектура «клиент–сервер», технологии разработки веб-приложений, электронные документы

В практике информационных технологий под корпорацией понимают крупную организацию с территориально распределенными подразделениями, деятельность которой обычно охватывает целый регион и включает в себя множество разнородных технологических процессов. Информационная система для корпорации называется корпоративной информационной системой (КИС). Процесс ее разработки имеет ряд особенностей, обусловленных прежде всего большим объемом, длительностью работ и необходимостью соблюдения ряда требований, предъявляемых к таким системам [1].

КИС должна соответствовать следующим основным требованиям.

1. Многофункциональность, удовлетворение потребностей всех автоматизируемых подразделений организации, соответствие целям и задачам организации, распределенной обработки информации.

2. Гибкость и расширяемость, учет возможности внесения изменений в бизнес-процессы организации, появление новых требований к аппаратной платформе, изменение функциональных прав пользователей системы и т. д.

3. Использование стандартных и функциональных хранилищ данных из локальных, корпоративных и глобальных сетей, обеспечивающее отсутствие существенных затрат на дополнительное администрирование и поддержание целостности, надежности и безопасности хранения данных, а также использование стандартных способов обмена данными между различными компонентами системы и с внешними системами.

4. Обеспечение безопасности с помощью различных методов контроля и разграничения доступа к информационным ресурсам.

Соблюдение всех перечисленных требований и снижение сложности и стоимости процесса создания КИС может быть достигнуто сегодня только за счет применения современных подходов и технологий при создании КИС и на всех этапах ее жизненного цикла.

Одним из ключевых подходов является использование архитектуры «клиент–сервер», в которой приложение и базы данных функционируют на сервере, а рабочая станция пользователя (клиент) взаимодействует с сервером, отправляя ему запросы и принимая ответы. Одним из достоинств такого рода приложений является мобильность клиента, что позволяет пользователю получить работоспособное приложение независимо от установленной на клиенте операционной системы, а разработчику и администратору – возможность внесения изменений в приложение только на сервере без выполнения каких-либо действий у клиентов. Вариантом архитектуры «клиент–сервер» является трехзвенная архитектура, которая задействует при функционировании информационной системы три компонента: сервер приложений, сервер баз данных и рабочие станции пользователей.

Такая организация работы позволяет оптимально распределить нагрузку на аппаратное обеспечение, существенно снизить расходы на аппаратное обеспечение и сетевое оборудование, обеспечить централизованное администрирование системы, а также выполнить требования гибкости, расширяемости и возможности распределенной обработки информации, т. е. позволяет учесть целую группу требований к корпоративной информационной системе.

Другой группой требований является использование стандартных способов обмена данными между различными компонентами системы и с внешними системами, а также использование стандартных хранилищ данных.

Сегодня одним из общепризнанных стандартов для хранения структурированных данных и для обмена данными между приложениями в сети Интернет является XML (eXtensible Markup Language) – язык разметки, использующий произвольный набор инструкций и описывающий XML-документы [2]. Инструкции XML-документов называются тэгами, они предназначены для формирования в документах определенной структуры и отношений между различными элементами этой структуры. Тэги языка в XML-документах выделяются относительно основного содержимого документа, для их обозначения используются символы «<» и «>», внутри которых помещаются названия инструкций и их параметры. В XML нет жестко определенного набора тэгов. Вместо этого каждое приложение вводит собственные наборы тэгов и правил их взаимного расположения.

Для описания XML-документа, в том числе имен элементов и типов данных, перечня элементов, а также перечней атрибутов каждого элемента, используется язык XSD. Описание XML-документа на этом языке называется XML-схемой (XML Schema). Таким образом, XML-схема

позволяет создавать XML-документы по заданным правилам. XML-схема используется также при проведении структурного контроля XML-документов, т. е. проверке их на соответствие схеме с помощью программных средств, называемых парсерами.

Для визуализации XML-документов используется специальное средство – XSL-шаблоны (eXtensible Stylesheet Language). XSL-шаблоны состоят из набора инструкций, которые определяют правила отображения элементов XML-документа в окне приложения, установленного на рабочей станции пользователя. При разборе XSL-шаблона обрабатываются его инструкции и каждому элементу, найденному в XML-документе, ставится в соответствие набор инструкций XSL-шаблона, определяющих форматирование этого элемента.

Язык XML обладает множеством достоинств, которые дают основание для его использования при реализации обмена данными в КИС: он обеспечивает работу с различными приложениями, прост для реализации, позволяет объединять большое количество файлов и создавать из них составные документы. Также XML-документы могут использоваться в качестве промежуточного формата данных в системах с трехзвенной архитектурой.

Полномасштабная КИС должна выполнять сложные и разнообразные функции работы с данными, включая сбор данных из различных источников, их согласование, загрузку в хранилище, хранение аналитической информации, регламентной отчетности, поддержку запросов и т. д. Для решения этих проблем может быть использована система управления базами данных Oracle, с помощью которой можно надежно хранить большие объемы информации, выполнять процедуры извлечения различных данных, загружать их в хранилище. Система управления базами данных Oracle предоставляет различные средства организации хранилищ: параллельную обработку запросов, специализированные алгоритмы выполнения запросов, которые значительно повышают производительность их обработки, секционирование данных, ускоряющее обработку очень больших таблиц и индексов.

На основе трехзвенной архитектуры могут разрабатываться веб-приложения, в которых роль клиента играет веб-браузер, а роль сервера приложений – веб-сервер. Основным недостатком веб-приложений, которые разрабатывались на ранних этапах развития веб-технологий, считалось то, что на сервере были сосредоточены и бизнес-логика приложения, и функциональность графического интерфейса. Это приводило к передаче большого объема данных от сервера к клиенту и к тому, что вся вычислительная нагрузка приходилась на сервер, а вычислительная мощность компьютера-клиента была почти не задействована. Устранение именно этого недостатка являлось одной из приоритетных задач в развитии веб-технологий.

В 2005 году был предложен новый подход [3] к разработке графического интерфейса веб-приложения, позволивший существенно уменьшить объем передаваемых данных от сервера к клиенту, что сделало веб-приложение более быстрым и удобным. Данный подход, называемый AJAX (Asynchronous Javascript and XML), заключается в «фоновом» обмене данными между браузером и веб-сервером. В результате при обновлении данных веб-страница не перезагружается полностью и веб-приложения становятся более быстрыми и удобными. В рамках AJAX собраны давно известные веб-технологии, но их совместное использование позволило получить новые результаты. AJAX включает в себя следующие технологии:

- стандартизованное представление с использованием расширяемого языка разметки гипертекста XHTML (Extensible Hypertext Markup Language) и каскадных таблиц стилей CSS (Cascading Style Sheets), позволяющих определять стили элементов веб-страницы;

• динамическое отображение и взаимодействие при помощи объектной модели документов DOM (Document Object Model), представляющей структуру веб-страницы в виде набора объектов, которые можно обрабатывать средствами JavaScript, что дает возможность изменять внешний вид графического интерфейса веб-приложения непосредственно в процессе работы с ним;

• управление и обмен данными между веб-браузером и веб-сервером через расширяемый язык разметки XML;

• асинхронное получение данных от веб-сервера с использованием объекта класса XMLHttpRequest, позволяющего программисту получать данные с веб-сервера в фоновом режиме.

Сегодня существует несколько инструментов разработки AJAX-приложений, позволяющих реализовывать перечисленные технологии, одним из которых является Google Web Toolkit (GWT) [4]. GWT – это свободно распространяемый фреймворк, который позволяет разрабатывать AJAX-приложения на основе языка программирования Java. Фреймворк является каркасом программной системы, включает в себя вспомогательные программы, библиотеки кода, язык сценариев и другое программное обеспечение, облегчающее разработку и объединение разных компонентов большого программного проекта за счет использования единого набора методов или функций, используемого для доступа к функциональности программного компонента, называемого API (Application Programming Interface).

GWT обладает рядом достоинств, которые обосновывают его выбор для использования в качестве инструмента разработки веб-приложений на основе подхода AJAX:

• полное соответствие концепциям объектно-ориентированного программирования;

• возможность создания и оперативного внесения изменений в сложные компоненты пользовательского интерфейса;

• веб-приложение, созданное с использованием GWT, может работать в разных веб-браузерах, например в Internet Explorer, Firefox, Safari, Opera.

В качестве примера корпоративной информационной системы, при разработке которой были использованы упомянутые информационные технологии, можно привести систему представления документов в электронном виде для использования участниками внешнеэкономической деятельности, разработанную предприятиями, где работают авторы.

Система представления документов предназначена для создания, редактирования, просмотра документов, необходимых для представления в таможенный орган в процессе декларирования товаров и транспортных средств, передачи подготовленного комплекта документов в таможенный орган и дальнейшего обмена с таможенным органом в соответствии со спецификацией обмена, установленной таможенными органами. Обмен производится исключительно в электронном виде, а юридическая значимость документов, которыми обмениваются стороны, удостоверяется электронной цифровой подписью, выдаваемой удостоверяющими центрами.

При разработке системы представления документов кроме упомянутых информационных технологий использовались информационные технологии взаимодействия между автоматизированными системами. Для осуществления этого взаимодействия могут использоваться различные транспортные средства, работающие в асинхронном режиме и основанные на обработке очередей: система обмена сообщениями Oracle Advanced Queuing (Oracle AQ), входящая в состав СУБД Oracle и предоставляющая инфраструктуру для обмена сообщениями между приложениями, и система очередей IBM WebSphere MQ. Обработка очередей заключается в накоплении XML-документов (сообщений) и последующей их последовательной обработке.

Очередь Oracle AQ представляет собой таблицу очередей, в которую одно приложение помещает сообщения, а другое извлекает их и обрабатывает. При этом надежность доставки сообщений зависит от надежности функционирования базы данных как хранилища, т. е. сообщения надежно доставляются и не могут быть потеряны. Система очередей IBM WebSphere MQ также характеризуется гарантией доставки, несмотря на возможные отказы аппаратного и программного обеспечения, высокой скоростью асинхронного обмена данными, возможностью шифрования данных, наличием высокоуровневых интерфейсов для разработчиков приложений на всех платформах. IBM WebSphere MQ используется гораздо чаще по сравнению с Oracle AQ.

Система представления документов основана на трехзвенной архитектуре, включает в себя веб-сервер приложений TomCat5, сервер баз данных Oracle 10g и рабочие места пользователей, на которых должны быть установлены веб-браузер InternetExplorer версии 6.0 и средства криптографической защиты информации CryptoPro версии 2.0 или 3.0. Для работы системы представления документов должны использоваться операционные системы серверов Microsoft Windows 2000/2003 Server, а на рабочих местах пользователей может быть установлена операционная система Windows 98 или более высокой версии.

В настоящее время разработка системы представления документов завершена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуруге А. Корпоративные порталы на основе XML и Web-служб: пер. с англ. М.: Кудиц-Образ, 2004. 367 с.
2. XML для профессионалов / Д. Мартин, М. Бирбек, М. Кэй и др. М.: Лори, 2001. 900 с.
3. Закас Н., Мак-Пик Д., Фосетт Д. Ajax для профессионалов: пер. с англ. СПб.: Символ-Плюс, 2007. 485 с.
4. Тидвелл Д. Разработка пользовательских интерфейсов: пер. с англ. СПб.: Питер, 2007. 416 с.

A. V. Ekalo, E. A. Opaleva, I. I. Kholod, A. A. Liss

A SYSTEM OF INTERNATIONAL TRADE E-DOCUMENTS SUBMISSION TO THE CUSTOMS AUTHORITIES AS A CASE OF MODERN IT SOLUTIONS USED FOR CORPORATE INFO SYSTEM CONSTRUCTION

The basic requirements to the construction of corporate info systems are defined. Modern information technologies of web-application development applied in corporate info systems are considered. The named above technologies are described in terms of their application in system of e-documents submissions to customs authorities.

Corporate info system, three-tier model in client-server architecture, web-application development technologies, e-documents

УДК 623.004

Е. В. Постников

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛИГОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБРАЗЦОВ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Рассматривается подход к информационному моделированию процесса полигонных натурных испытаний технических объектов с использованием сложной экспериментально-испытательной базы. Предложена архитектура вычислительно-моделирующей среды, реализующей основные принципы информационного моделирования.

Испытательный полигон, информационная модель, моделирование натурных испытаний

Полигонные натурные испытания различных образцов вооружений, военной и специальной техники (ВВСТ) являются одним из важнейших этапов их отработки и принятия на вооружение [1]. Современные и перспективные образцы ВВСТ требуют для проведения испытаний применения сложной и дорогостоящей экспериментально-испытательной базы (ЭИБ), с помощью которой можно оценить их функциональные и летно-технические харак-

теристики. Для испытаний перспективных, в том числе высокоточных, образцов ВВСТ возможностей существующей ЭИБ испытательных полигонов оказывается недостаточно для надежной оценки их характеристик в требуемых условиях применения.

Развитие ЭИБ испытательных полигонов – процесс, требующий больших материальных и временных ресурсов, связанный с необходимостью проведения НИОКР, с разработкой и внедрением новых технологий обработки и анализа результатов испытаний, с поставкой на полигоны современных измерительных средств и разнообразного оборудования. Наиболее действенным способом повышения эффективности использования материальных и других ресурсов, определения возможности проведения испытаний с требуемым качеством является математическое и имитационное моделирование процессов полигонной отработки, которое может быть проделано задолго до проведения реальных испытаний. Моделирование полигонных испытаний (ПИ) позволяет определить рациональные направления и пути модернизации ЭИБ для выполнения заданных требований к проведению испытаний перспективных образцов ВВСТ, а также обеспечить оптимальное планирование натурных экспериментов.

Идеологически технология моделирования ПИ должна опираться на процессный подход к моделированию сложной организационно-технической системы, какой является испытательный полигон. Суть такого подхода состоит в том, что моделироваться должна не сама система, а процессы, в ней происходящие. Это позволяет моделировать на информационном уровне процессы функционирования системы, не имея достаточно точных и адекватных математических моделей самой системы. Таким образом, основным классом моделей, используемым при моделировании ПИ, становятся информационные модели (ИМ), описывающие моделируемый процесс как «вход–выход».

Для проведения моделирования ПИ необходимо создание специальной вычислительно-моделирующей среды (ВМС), реализованной в виде программного комплекса (ПК). Для выполнения своих функций в полном объеме в состав ВМС должны входить такие компоненты, как информационный паспорт полигона, ИМ испытываемых образцов ВВСТ, ИМ средств и систем ЭИБ, функциональные задачи планирования, имитации и оценки результатов натурного эксперимента, интерфейс пользователя.

Информационный паспорт полигона содержит сведения о географическом расположении и топологии полигона, координатах стартовых и огневых позиций, боевых полях, составе и расположении средств и систем ЭИБ и т. п.

В качестве основной ИМ образца ВВСТ может использоваться его траектория движения, а также характеристики излучательных и отражательных способностей объекта в различных диапазонах частот. Построение расчетной траектории движения образца ВВСТ является само по себе сложной задачей и требует использования динамических математических моделей движения в виде систем дифференциальных уравнений. Для целей моделирования ПИ также могут успешно использоваться ИМ на основе кинематических математических моделей [2].

Для построения траекторий движения различных образцов ВВСТ необходим специальный программный комплекс, называемый «Конструктор траекторий», с помощью которого пользователь может создавать расчетные траектории с требуемыми характеристиками для объектов различных типов, в том числе аэродинамического (самолет, вертолет, крылатая ра-

кета, зенитная управляемая ракета), баллистического (баллистическая ракета, космический аппарат, артиллерийский снаряд) и других объектов.

ИМ средств и систем ЭИБ создаются для представителей различных комплексов полигонной ЭИБ, непосредственно используемых при натурных испытаниях. В число моделируемых комплексов должны входить: траекторный измерительный комплекс, комплекс радиотелеизмерений, мишенный комплекс, помеховый комплекс, система единого времени (СЕВ). ИМ средства траекторных измерений (оптического, оптико-электронного, радиотехнического, радиолокационного) содержит описание координат расположения средства, состав измеряемых параметров, точностные характеристики измерений, темп измерений, ограничения на измерения (дальности, углы, скорости изменения углового перемещения, зоны ненаблюдаемости и прочие ограничения), а также математическую модель преобразования координат наблюдаемого объекта в измерительной системе координат в измеряемые параметры, записываемую в библиотеку методов. Аналогичным образом строится ИМ средств комплекса радиотелеизмерений.

ИМ измерительных средств (реальных или виртуальных) записываются в базу данных полигонного измерительного комплекса. При проведении моделирования ПИ из этой базы пользователь имеет возможность с помощью специального программного средства «Редактор ЭИБ» выбрать по своему усмотрению набор измерительных средств, синтезировав тем самым желаемый состав, номенклатуру и топологию полигонного измерительного комплекса.

ИМ мишенного комплекса повторяет модель образца ВВСТ с учетом требуемых характеристик мишени и может создаваться с помощью того же «Конструктора траекторий».

ИМ помехового комплекса должна отражать эффект, который вносит помеха в работу средств измерительного комплекса. Это, в первую очередь, снижение отношения «сигнал/шум» на входах антенных устройств радиолокационных, радиотехнических и радиотелеметрических измерительных средств.

Функциональные задачи планирования и оценки результатов натурного эксперимента включают широкий спектр задач, в состав которых могут входить: априорная оценка возможностей ЭИБ испытательного полигона при проведении натурного эксперимента (включая задачи оценки наблюдаемости объектов испытаний измерительными средствами, априорной оценки точности определения параметров движения и другие задачи); оптимизация состава и размещения измерительных средств; оценка эффективности использования ЭИБ полигона; учет влияния возмущающих факторов; оценка затрат на проведение натурного эксперимента и другие.

Остановимся отдельно на задаче учета возмущающих факторов. В число таких факторов могут входить: погрешности геодезической привязки точек стояния измерительных средств полигонного измерительного комплекса, погрешности геодезической привязки используемых систем координат, погрешности привязки шкал времени измерительных средств к СЕВ и т. д. Неучет этих факторов при обработке измерительной информации, полученной в натурном эксперименте, приведет к увеличению ошибок в оценках его результатов. Моделирование ПИ позволит выявить значимость таких ошибок и, если величина их слишком высока, запланировать проведение соответствующих работ для снижения влияния таких погрешностей на результаты обработки.

Интерфейс пользователя ВМС является важнейшим элементом, определяющим удобство работы с моделирующим комплексом. Интерфейс должен соответствовать возможным сценариям работы пользователя, разработка которых является весьма сложной задачей. Центральным моментом в сценарии работы пользователя является понятие модели эксперимента. Под моделью эксперимента будем понимать сформированные:

а) территорию полигона;

б) расчетную траекторию объекта испытаний с точками старта и финиша;

в) расчетную траекторию мишени (если она используется) с точками старта и финиша, заданную во временной шкале траектории объекта испытаний;

г) задействованные средства полигонного измерительного комплекса, выбранные из базы данных с помощью «Редактора ЭИБ»;

д) требования к точности определения параметров движения объектов испытаний и другие требования.

Все данные, определяющие модель эксперимента, удобно и наглядно отображать в графическом виде на специальной экранной форме, называемой «планшет» (см. рис. 1).

Далее пользователь может выбрать функциональную задачу по планированию, имитации или оценке результатов натурного эксперимента из имеющегося экранного меню. Результаты расчетов отображаются в табличной и графической формах.

При проектировании ПК, реализующего ВМС, была выбрана комбинированная архитектура (см. рис. 2), позволяющая реализовать достоинства трехуровневой модели «клиент–сервер» и сервис-ориентированного подхода. ПК построен на основе функционально самостоятельных подсистем, решающих ограниченный круг задач. Между подсис-

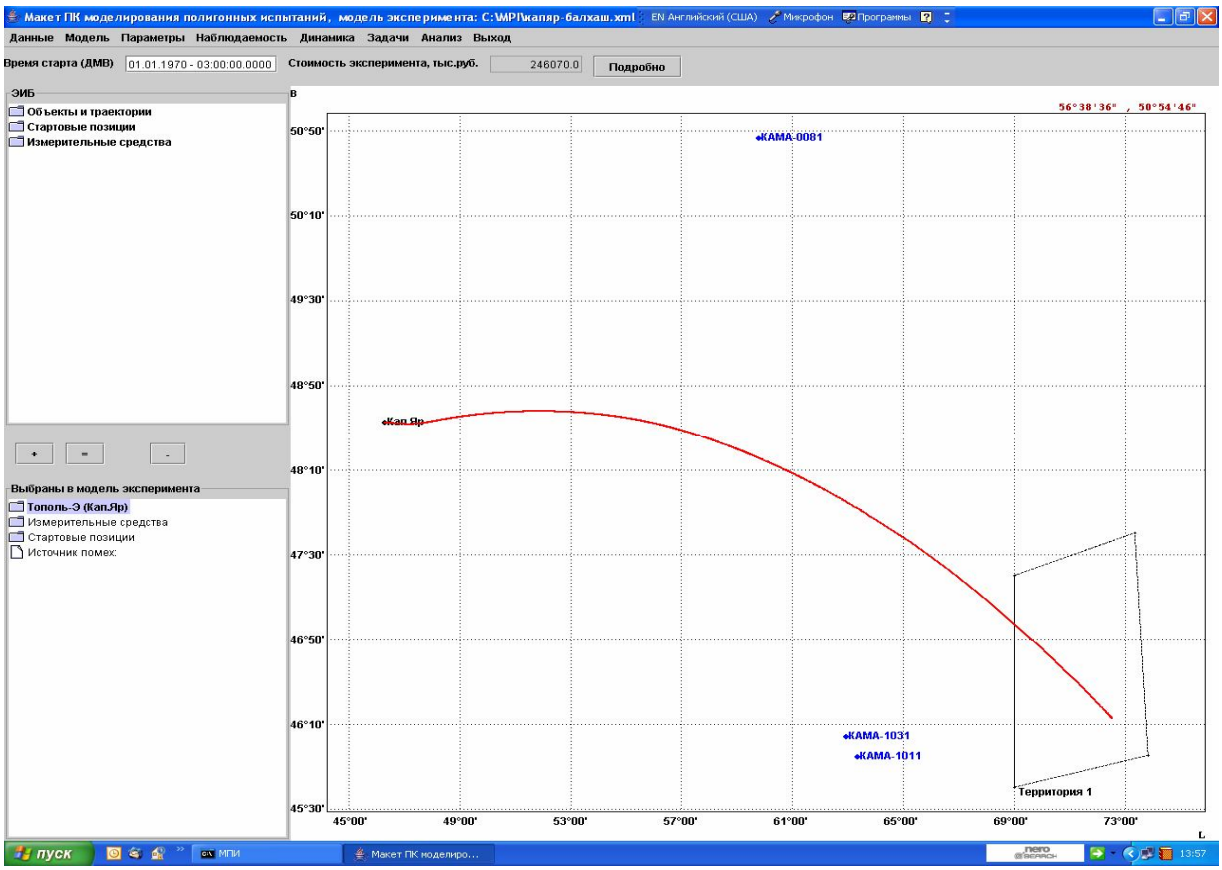


Рис. 1

темами данные представлены стандартным образом. Внутри подсистем данные представляются комбинированно: как стандартно, так и в виде объектных интерфейсов, предметно ориентированных на задачи, решаемые данной подсистемой. В качестве стандартного представления данных, передаваемых между подсистемами, используется формат XML.

В составе ПК выделены:

- подсистема подготовки данных;
- подсистема синтеза и анализа модели эксперимента;
- подсистема отображения;
- подсистема анализа результатов моделирования и генерации отчетов.

Кроме указанных подсистем, в предложенной архитектуре ключевое место занимает организация данных.

Назначением подсистемы подготовки данных являются ввод данных из внешних источников и преобразование их к внутреннему представлению. Здесь используются алгоритмы, позволяющие вводить различные параметры ЭИБ, характеристики объектов испытаний, параметры и описания информационных и математических моделей. В подсистеме реализуется два компонента: редактор условно-постоянных данных и мастер импорта-экспорта в формат XML.

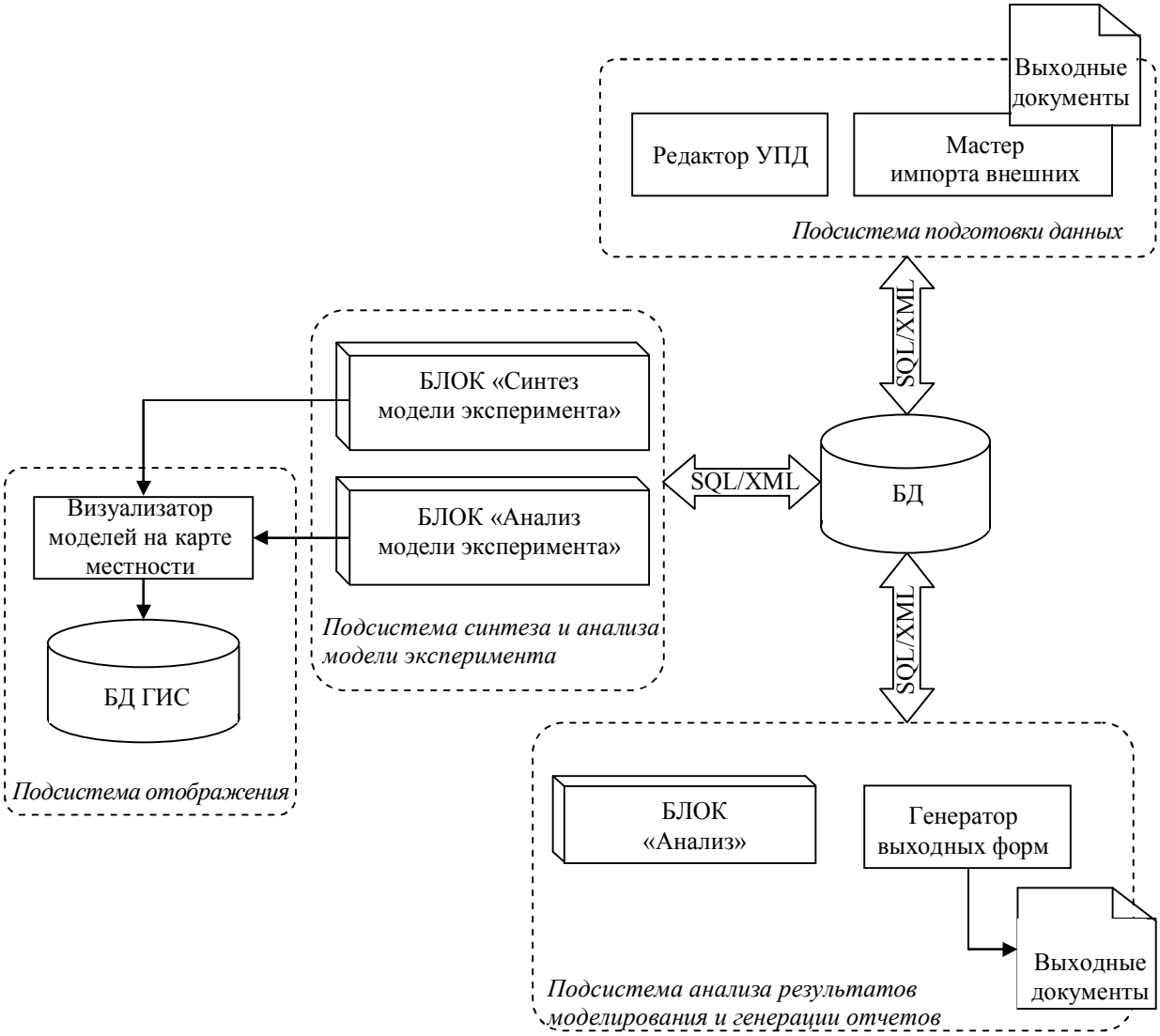


Рис. 2

Подсистема синтеза и анализа модели эксперимента предназначена для реализации основного режима работы – синтеза и анализа конкретных моделей эксперимента по результатам имитации натурного эксперимента под управлением пользователя.

В подсистеме отображения визуализируются исследуемые модели эксперимента на электронной карте местности. Система визуализации данных является важным звеном, облегчающим процесс анализа. Источниками данных для отображения служат конкретная модель испытаний и геоинформационная база. Задача подсистемы – представление полученных в результате моделирования данных в виде, наиболее удобном для получения интегральной картины процесса испытаний.

Подсистема итогового анализа результатов моделирования и генерации отчетов завершает работу пользователя по моделированию ПИ.

Структура ПК моделирования ПИ представлена на рис. 3.

Для обмена данными между подсистемами используется формат представления XML. Для применения в ПК моделирования ПИ разработана единая структура представления модели эксперимента в данном формате, а также кроссплатформенная библиотека объектного доступа к этим данным. Представление параметров полигонных испытаний в формате XML обеспечивает:

- единый формат представления данных для компонентов, входящих в состав ПК моделирования ПИ;
- открытость для внешних потребителей;
- возможность стандартизованного обмена данными между подсистемами и внешними потребителями;
- масштабируемость и возможность дальнейшего наращивания подсистем в ПК.

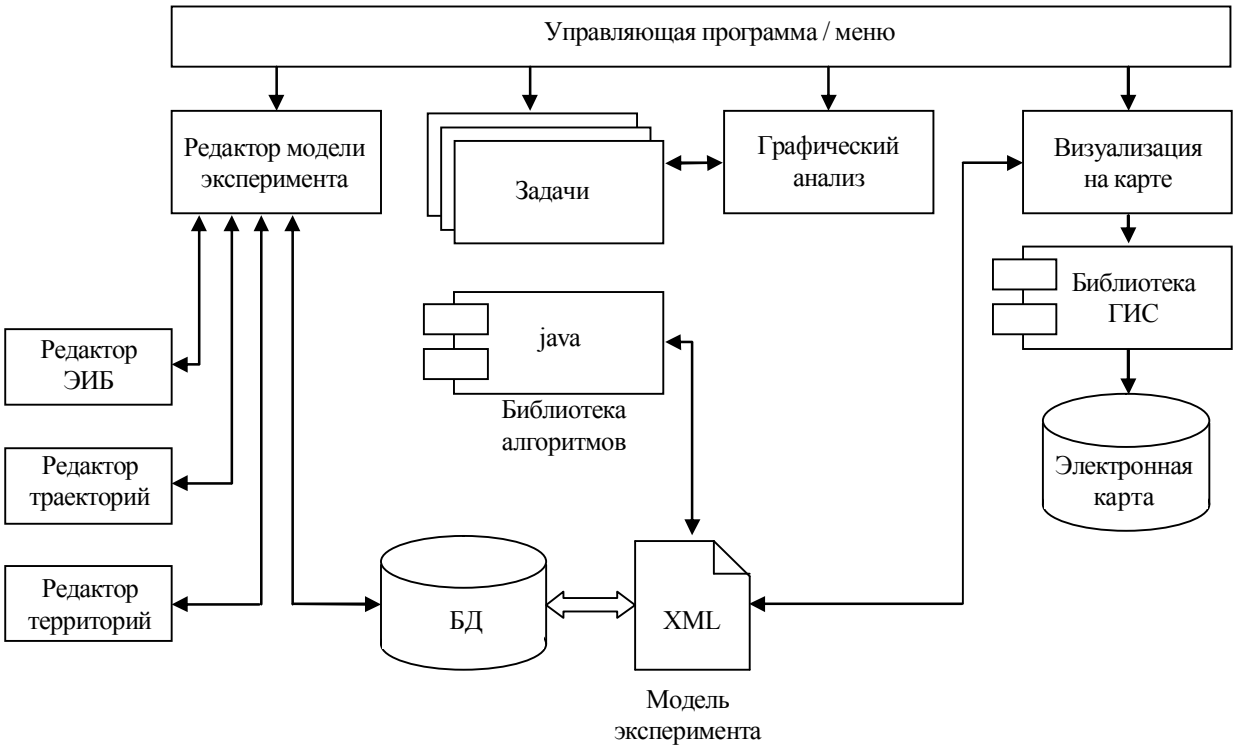


Рис. 3

Использование унифицированного формата представления на основе XML обеспечивает современный уровень представлений об информационном обмене между отдельными программными системами и их компонентами.

Построенный ПК моделирования ПИ позволяет в полном объеме решать задачи планирования натурного эксперимента, развития и оптимизации ЭИБ испытательного полигона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меньшиков В. А. Полигонные испытания: Учеб. пособие. М.: Космо, 1997. Кн. 1. 416 с.
2. Даугавет А. И., Постников Е. В., Тревгода С. А. Моделирование движения воздушных объектов// Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Информатика, управление и компьютерные технологии». 2007. Вып. 1. С. 17–26.

E. V. Postnikov

THE MODELLING PROVING GROUND TEST FOR PERSPECTIVE SAMPLE OF DEFENSE TECHNOLOGY

The approach to information modeling actual test for technical objective with use complicated experimental basis is considered. Software architecture of computing environment realizing the basic principles of information modeling is prorose.

Proving ground, information model, modeling actual test

УДК 681.5.01

С. А. Беляев, М. Г. Павловский, С. А. Романенко

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА ДЛЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ПОЛИГОНОВ

Описываются особенности построения архитектуры системы электронного документооборота, предназначенной для использования на испытательных полигонах Российской Федерации.

Документооборот, испытательные полигоны, базовые информационные защищённые компьютерные технологии

В последнее время многие российские компании стремятся перейти от бумажного документооборота к электронному. При этом они либо уже приобрели готовую систему электронного документооборота (СЭД), либо планируют её внедрение в ближайшем будущем. Автоматизация затронула и государственные структуры: так, в отдельных субъектах Российской Федерации внедрение СЭД предписано соответствующими указами. Военное ведомство при этом не стало исключением из правил: системы электронного документооборота, например, разрабатывают и внедряют на испытательных полигонах. Делопроизводство испытательных полигонов имеет некоторые особенности:

– необходимость контроля выполнения приказов и распоряжений из служебных документов;

– одновременная работа над документом в нескольких подразделениях, в том числе при отсутствии постоянного сетевого соединения или при необходимости использовать электронную почту для передачи данных;

– разграничение доступа к документам должностных лиц и подразделений испытательных полигонов (с учетом отпусков и постоянного или временного совмещения должностных обязанностей);

– обеспечение механизмов работы с пакетами документов;

– возможность работы с секретными, несекретными документами с ведением соответствующих журналов;

– возможность интеграции с системами планирования опытно-испытательных работ (ОИР) для обеспечения их документального оформления [см. лит.].

Внедрение СЭД на испытательных полигонах даст возможность ускорить обработку служебных документов за счёт одновременной работы над документами в нескольких, в том числе территориально удаленных, подразделениях, что явится значительным шагом вперёд при существующих требованиях по времени подготовки ответов на официальные запросы. Объединение с системами планирования позволит создать единое информационное пространство проведения опытно-испытательных работ, в том числе при наличии грифов у обрабатываемой информации.

Для решения задач в интересах Министерства обороны рекомендуется использовать базовые информационные защищенные компьютерные технологии (БИЗКТ), которые включают в себя широкий спектр программных продуктов. Основой ведения документооборота в БИЗКТ являются базовые унифицированные программные средства ведения делопроизводства (БУПСВД – ФЛИР.461269.001). БУПСВД обладают обширным функционалом по автоматизации административной деятельности войсковой части, но не обеспечивают некоторые из необходимых функций, например, такие как работа с пакетами документов и интеграция с системами планирования опытно-испытательных работ, к тому же они требуют особой настройки при работе в географически распределённой среде.

В настоящее время на рынке существует множество систем, которые решают задачи автоматизации процессов работы с документами, например, такие как МОТИВ, ЕВФРАТ, LanDocs, DIRECTUM, DocsVision и др.* Перечисленные системы в общем случае обеспечивают:

– однократную регистрацию документа, позволяющую однозначно идентифицировать документ;

– возможность параллельной обработки, позволяющую сократить время движения документов и повысить оперативность исполнения;

– непрерывность движения документов;

– единую базу данных, позволяющую исключить возможность дублирования документов;

– многокритериальную систему поиска документа;

– развитую систему отчётности по различным статусам и атрибутам документов.

Анализ мирового и отечественного опыта по созданию СЭД позволяет сделать вывод, с одной стороны, о наличии богатого опыта решения отдельных задач автоматизации документооборота, а с другой стороны, об отсутствии интегрирующей системы, которая могла бы стать основой СЭД испытательных полигонов РФ в связи с отсутствием некоторых ключевых функций. Таким образом, целесообразной представляется разработка специализированной системы электронного документооборота, в рамках которой могут быть реализованы все функции, необходимые испытательным полигонам РФ.

---

* Состояние рынка систем документооборота – http://doc.cnews.ru.

На рисунке приведена предлагаемая архитектура СЭД, которая реализует базовую концепцию «представление – обработка – хранение». На уровне представления осуществляется ввод и отображение информации. Документы, поступающие в бумажном виде, должны быть переведены в электронную форму, снабжены соответствующими атрибутами и внесены в систему. Электронные документы вносятся в СЭД в неизменённом виде.

На уровне обработки обеспечиваются основные функции СЭД, такие как контроль функций, доступных на уровне представления, редактирование документов, управление пакетами, поручениями, синхронизация данных в географически распределенной системе и другие функции.

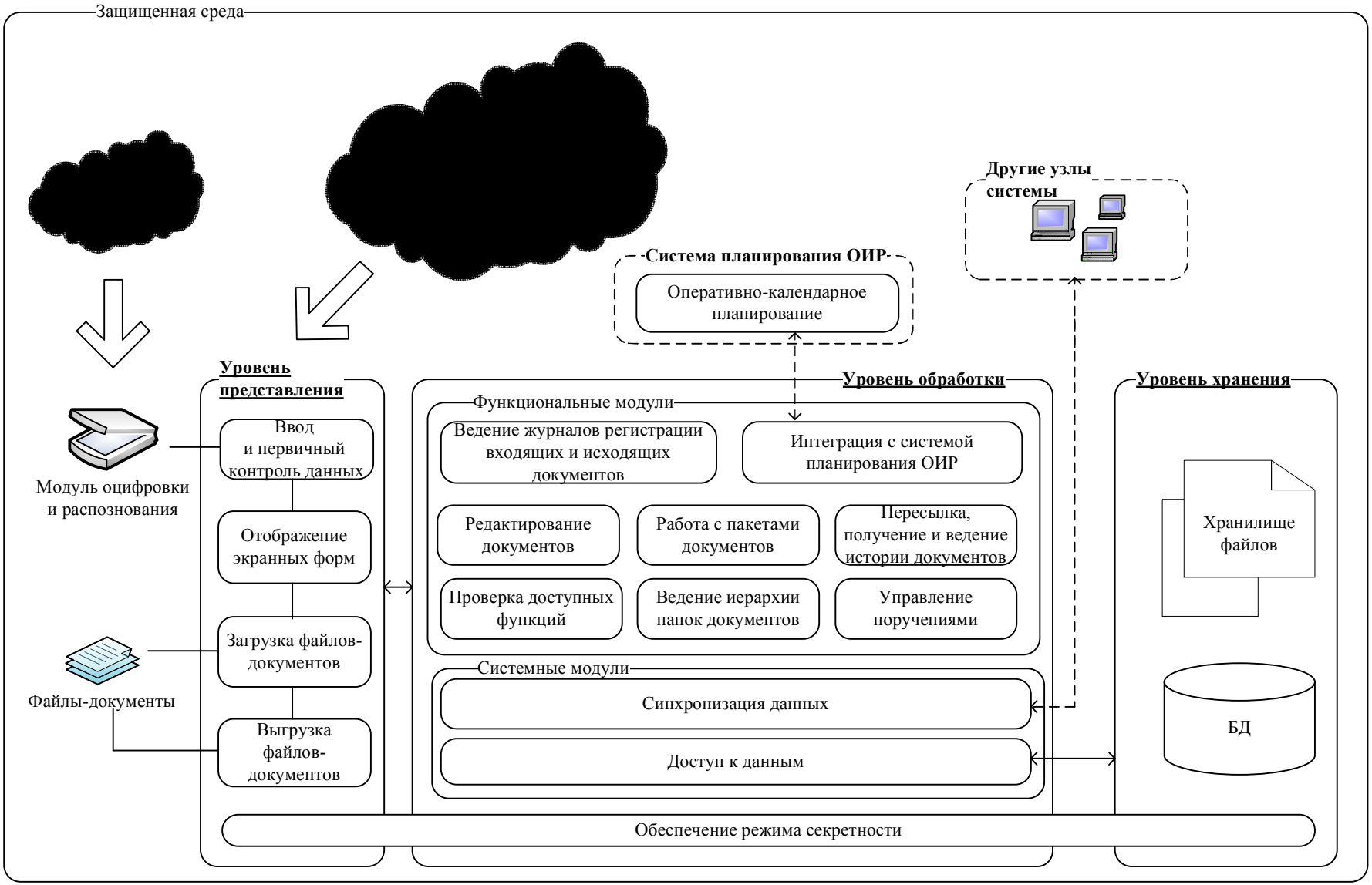
На уровне хранения обеспечивается хранение информации в базе данных и в виде файлов, а также обновление и выдача данных по запросу.

На всех трех уровнях осуществляется контроль режима секретности, что позволяет работать как с секретными, так и с несекретными документами. Данный способ построения системы соответствует архитектуре веб-приложений, когда браузер осуществляет только функции отображения, а вся бизнес-логика выполняется на сервере приложений. Большинство современных СЭД реализованы в виде веб-приложений, так как при этом механизм авторского сопровождения и администрирования системы существенно упрощается по сравнению с использованием «толстых» клиентов.

Модульность построения системы позволяет описать интерфейсы взаимодействия модулей между собой и сосредоточиться на их функциях, при этом обеспечивается наращиваемость и независимость разработки отдельных компонентов системы. Для обеспечения ключевых функций, необходимых на испытательных полигонах, в архитектуру включены такие модули как управление поручениями, синхронизация данных, доступ к данным, работа с пакетами документов, обеспечение режима секретности и *интеграции с системой планирования.*

Одной из важных особенностей испытательных полигонов является обеспечение одновременной работы пользователей с учетом синхронизации данных с использованием электронной почты, что обеспечивается модулем синхронизации данных. Данная особенность требует особого построения модуля синхронизации, который должен позволять обеспечивать как синхронизацию при наличии прямого соединения, так и интеграцию с почтовыми программами для передачи сообщений, и учитывать возможности нарушения последовательности передачи и потерю сообщений.

Другой важной особенностью является построение СЭД с учетом работы в секретном и несекретном режимах, что, с одной стороны, обеспечивается модулем обеспечения режима секретности, с другой стороны, накладывает дополнительные ограничения на способ разработки системы и на необходимость последующей сертификации разработанного программного продукта на соответствие требованиям Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК) или Министерства обороны для соответствующего грифа информации. При этом СЭД должна работать под управлением мобильной системы вооруженных сил (МСВС), разработка СЭД должна осуществляться с использованием продуктов БИЗКТ, архитектура и принципы работы должны быть описаны в соответствующей программной документации, исходные коды СЭД – представлены в сертифицирующую лабораторию для проверки на соответствие требованиям ФСТЭК или Министерства обороны.


Защищенная среда
Другие узлы системы
Система планирования ОИР
Оперативно-календарное планирование
Уровень представления
Уровень обработки
Уровень хранения
Модуль оцифровки и распознования
Ввод и первичный контроль данных
Отображение экранных форм
Загрузка файлов-документов
Выгрузка файлов-документов
Файлы-документы
Функциональные модули
Ведение журналов регистрации входящих и исходящих документов
Интеграция с системой планирования ОИР
Редактирование документов
Работа с пакетами документов
Пересылка, получение и ведение истории документов
Проверка доступных функций
Ведение иерархии папок документов
Управление поручениями
Системные модули
Синхронизация данных
Доступ к данным
Хранилище файлов
БД
Обеспечение режима секретности

Таким образом, СЭД для испытательных полигонов должна реализовывать основной функционал классических систем делопроизводства, незначительный набор дополнительных функций, а также обеспечивать работу с учетом российских реалий по средствам связи и соответствовать требованиям, выполнение которых позволяет сертифицировать программное обеспечение для работы в секретном и несекретном режимах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Разумовский Г. В., Павловский М. Г., Беляев С. А. Оперативно-календарное планирование в системах поддержки принятия решений // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2007. № 2. С. 57–61.

S. A. Belyaev, M. G. Pavlovskiy, S. A. Romanenko

ELECTRONIC DATA FLOW`S REALIZATION FEATURES FOR PROVING GROUNDS

The architecture of electronic data flow system for proving grounds of Russian Federation is described in the article.

Data flow, proving grounds, basic protected computer-based informational technologies

УДК 681.5.01

Е. В. Постников, Д. А. Романенко,
С. А. Беляев, М. Г. Павловский

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Описываются особенности построения архитектуры систем поддержки принятия решений в процессах управления эксплуатацией технических комплексов.

Поддержка принятия решений, технические комплексы, нештатные ситуации

Эксплуатация современных сложных технических комплексов, таких как ракетно-космические комплексы, металлургические заводы, атомные электростанции и т. п., сопряжена с высокими, в том числе экономическими, рисками. В общем случае риски эксплуатации связаны с отказами технических средств либо возникновением нештатных и аварийных ситуаций по вине обслуживающего персонала. Поддержка принятия решений при эксплуатации сложных технических комплексов заключается в автоматизированной помощи персоналу по предотвращению нештатных и аварийных ситуаций, а также в их анализе и выходе из них в случае возникновения.

В целом жизненный цикл сложных технических комплексов состоит из следующих этапов: создание; ввод в эксплуатацию; приведение в готовность; поддержание в готовности (в том числе, техническое обслуживание); хранение при эксплуатации; использование по назначению; снятие с эксплуатации; списание; утилизация.

Данные этапы относятся как к техническому комплексу в целом, так и к входящим в его состав системам и агрегатам. Применение автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР) представляется целесообразным на этапе использования технического комплекса по назначению. Это не означает, что остальные этапы менее важны, но они носят кратковременный характер по сравнению с этапом использования по назначению и, в общем случае, проводятся специально подготовленным персоналом, а часто в присутствии представителей предприятий промышленности.

Современные СППР решают важнейшие задачи управления эксплуатацией сложных технических комплексов при применении их по назначению:

– планирование и автоматизированный контроль процессов применения технического комплекса по назначению, процессов технического обслуживания, ремонтов, выхода из нештатных ситуаций [1];

– юридически значимый электронный документооборот, сопровождающий все аспекты применения технического комплекса по назначению;

– учет и контроль жизненных циклов систем и агрегатов, входящих в состав технического комплекса;

– подготовку и контроль готовности обслуживающего и эксплуатирующего персонала к штатной и нештатной работе;

– оценку тенденций изменения производительности работы систем и агрегатов;

– контроль текущего технического состояния систем и агрегатов, прогнозирование его изменения и выдачу рекомендаций по выполнению ремонтных работ и пополнению ЗИП;

– анализ и выдачу рекомендаций при возникновении отказов, неисправностей, нештатных или аварийных ситуаций [2].

Основу любой СППР составляет специальное информационное обеспечение, структура и состав которого тесно связаны со спецификой технологических процессов управления эксплуатацией технических комплексов. Поэтому, с одной стороны, разработка информационного обеспечения СППР должна носить индивидуальный характер и учитывать особенности конкретного технического комплекса, управления технологическими процессами и организационной структуры, обслуживающей эти процессы. С другой стороны, часть процессов для всех технических комплексов одинакова, что позволяет найти универсальные решения по автоматизации этих процессов.

На рисунке приведена обобщенная архитектура информационной системы поддержки принятия решений, в рамках которой могут быть решены задачи управления эксплуатацией сложных технических комплексов при применении их по назначению. Архитектура определяет состав основных компонентов СППР, ключевые модули и интерфейсы, показывает состав пользователей и перечень входных данных, необходимый для функционирования системы.

Важным аспектом при эксплуатации технических комплексов является начальное наполнение базы данных СППР. Как показывает опыт разработки, ввода в эксплуатацию и сопровождения СППР, начальное наполнение формируют и корректируют разработчики системы, а не персонал, эксплуатирующий или обслуживающий технические комплексы. За ввод информационно-справочных данных отвечает администратор системы из состава обслуживающего персонала. Персонал подразделений, эксплуатирующих СППР, обеспечивает ввод и редактирование оперативной информации. Конечным потребителем СППР является группа лиц (технические руководители работ), принимающих решения по вопросам управления эксплуатацией технических комплексов.

СППР предоставляет интегрированную информацию о текущем и прогнозируемом состоянии технического комплекса, позволяет визуально конструировать произвольные отчётные формы, отображать информацию в различных представлениях (2D, 3D, анимации, мнемосхемы, карты, табличное, сетевое и ленточное представление технологических

графиков), а также компоновать и выводить на внешние информационные табло сводную информацию о состоянии технического комплекса. В зависимости от особенностей технического комплекса, от состава и функций персонала, обеспечивающих контроль и управление эксплуатацией, разрабатываются специализированные информационные табло, включающие информацию в виде, соответствующем решаемой задаче и наиболее удобном для пользователя. Данные информационные табло отображают ту же информацию, что доступна в соответствующих модулях и компонентах СППР пользователям эксплуатирующих подразделений, но с учетом необходимого обобщения и интеграции информации о состоянии комплекса в целом.

Информация хранится в реляционной базе данных и базе знаний (см. рисунок). Доступ к данным осуществляется посредством обращения к объектной модели базы данных, а также по запросу к онтологическому описанию данных в терминах предметной области. База знаний позволяет хранить большее количество типов связей, чем доступно в реляционной базе, и осуществлять поиск с их использованием, в том числе на основе правил логического вывода. Правила логического вывода при этом могут быть частично заложены разработчиками системы, а большей частью формируются в процессе эксплуатации системы при переходе систем и агрегатов технического комплекса из одного состояния в другое в процессе его применения по назначению.

Функционально СППР состоит из следующих компонентов:

а) планирование и контроль процессов эксплуатации;

б) учёт состава, состояния и размещения технических средств (систем и агрегатов);

в) документальное обеспечение эксплуатации;

г) анализ и прогноз технического состояния технических средств (систем и агрегатов);

д) поддержка принятия решений в нештатных ситуациях;

е) поддержка принятия решений в аварийных ситуациях;

ж) поиск решений;

з) учёт и контроль подготовки эксплуатирующего персонала;

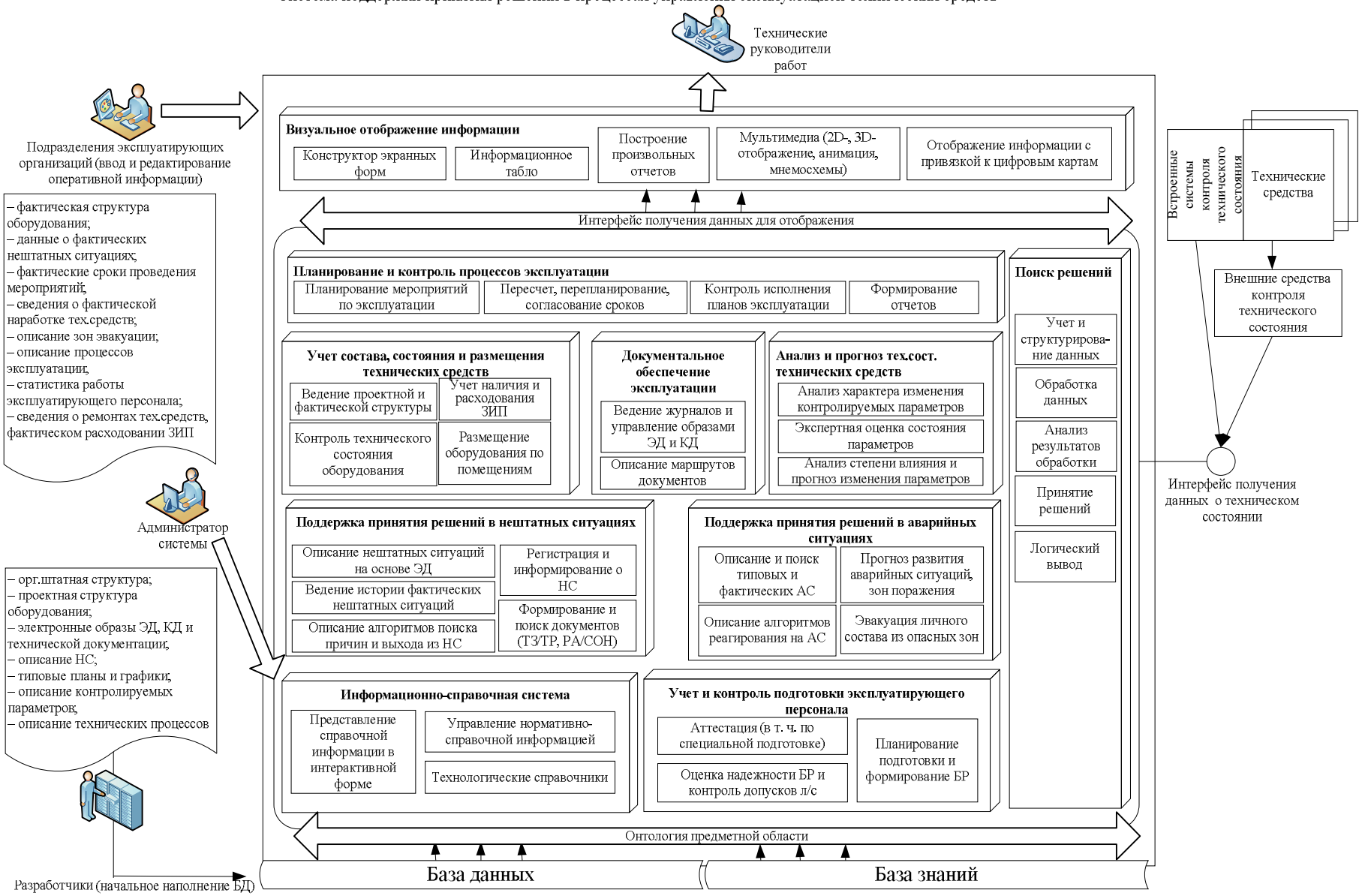
и) ведение информационно-справочных данных.

Компоненты системы строятся по принципу максимальной независимости друг от друга, что позволяет, с одной стороны, выполнять параллельную разработку элементов системы, с другой стороны, повышать качество разрабатываемой системы за счет возможности использования принципов модульного тестирования.

Предлагаемый подход к разработке СППР при эксплуатации сложных технических комплексов позволяет выделить часть модулей, которые разрабатываются под конкретную предметную область, и часть модулей, которые не зависят от предметной области и могут быть использованы повторно. Таким образом, предлагаемый подход позволяет сократить время проектирования СППР, а также уменьшить расходы на ее создание за счёт использования уже разработанных модулей, не зависящих от предметной области.

Исходные данные в СППР поступают не только от эксплуатирующего и обслуживающего персонала, но и от встроенных систем диагностики агрегатов и узлов технического комплекса. В данном случае поступает диагностическая информация о состоянии и фактических показателях работы оборудования. В общем случае объемы поступающих данных являются настолько высокими, что их обработка невозможна без использования

Система поддержки принятия решений в процессах управления эксплуатацией технических средств



специализированных методов и алгоритмов. При этом существует несколько различных подходов к обработке: полная обработка с выдачей рекомендаций потребителю; предварительная обработка с фильтрацией отклонений и предоставлением потребителю информации для анализа; предварительная обработка с отображением потребителю предупреждений о появлении отклонений в ходе работы оборудования. На настоящем уровне развития компьютерной техники полная обработка информации представляется нереализуемой, однако возможна реализация методов интеллектуального анализа данных, позволяющих эксплуатирующему персоналу получать сообщения о наличии отклонений в работе оборудования. Такие методы, работающие в автоматическом режиме, повышают эффективность СППР. При этом математический аппарат не требует изменения при применении в различных областях человеческой деятельности для различных технических комплексов.

Описанная архитектура СППР позволяет в полной мере решить задачи поддержки принятия решений при управлении эксплуатацией сложных технических комплексов, при этом часть модулей и компонентов СППР могут быть универсальными и не требовать доработки при изменении области применения системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разумовский Г. В., Павловский М. Г., Беляев С. А. Оперативно-календарное планирование в системах поддержки принятия решений // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2007. № 2. С. 57–61.

2. Павловский М. Г., Разумовский Г. В. Модель планирования выхода из нештатной ситуации в детерминированных технологических процессах // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2007. № 1. С. 26–31.

E. V. Postnikov, D. A. Romanenko, S. A. Belyaev, M. G. Pavlovskiy

CONSTRUCTION OF DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR TECHNICAL COMPLEXES OPERATION MANAGEMENT

The architecture specific of decision support systems for technical complexes operation management is described in the article.

Decision support system, technological process, scheduling, contingency

УДК 681.518.5

С. А. Романенко, С. А. Беляев, А. А. Завалишин

МОНИТОРИНГ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ИНЦИДЕНТНОЙ МОДЕЛИ

Описывается подход к построению средств мониторинга и оценивания технического состояния информационной системы с примером практического применения.

Мониторинг, техническое состояние информационной системы, инцидентная модель, параметры технического состояния

Качество функционирования современных информационных систем может существенно влиять на качество функционирования организаций, их применяющих. Нередки случаи, когда выход из строя или просто снижение эксплуатационных характеристик такой системы автоматически влечет за собой финансовые потери. Поэтому актуальной представляется задача оценки качества функционирования информационной системы. Однако процессы мониторинга и оценки состояния информационных систем представляют собой нетривиальную задачу, так как они состоят из большого числа разнородных элементов. В состав информаци-

онной системы могут входить различные технические средства, например, серверы, активное сетевое оборудование различных типов, системы хранения данных и т.п., а также различное общее и специальное программное обеспечение – операционные системы, системы управления базами данных, веб-серверы, серверы электронной почты, функциональные приложения и т. д.

Успешность применения информационной системы в соответствии с современными подходами определяется тем, насколько система эффективно обеспечивает выполнение бизнес-процессов организации. Все современные технологии управления, направленные на повышение эффективности применения информационных систем, базируются на процессном подходе, в основе которого лежит формальное описание совокупности бизнес-процессов организации, формирование на их основе перечня необходимых сервисов, предоставляемых информационной системой, контроль уровня предоставляемых сервисов на основе данных о техническом состоянии и качестве функционирования элементов информационной системы, а также контроль уровня обслуживания системы. Для каждого из информационных сервисов описываются параметры, характеризующие эффективность его предоставления системой. Такие параметры могут быть как качественными, так и количественными, а измерение и фиксация их значений могут производиться в автоматическом или ручном режиме.

Мониторинг и оценка технического состояния информационной системы осуществляются на основе сравнения фактических значений контролируемых параметров с эталонными значениями. Перечень контролируемых параметров, их эталонные значения, правила мониторинга и реагирования на изменения технического состояния составляют политику управления информационной системой. Для каждого параметра определяется диапазон значений, которые он может принимать. Требования к информационной системе представляются в виде набора эталонных значений контролируемых параметров. Несоответствие значения какого-либо параметра его эталонному значению будет говорить о понижении уровня технического состояния информационной системы, а значит о снижении эффективности соответствующего сервиса, предоставляемого системой.

Таким образом, можно ввести понятие «инцидент функционирования системы» и определить его как факт несоответствия измеренного фактического значения одного из параметров функционирования его эталонному значению. Общий подход к анализу состояния информационной системы осуществляется на основании наличия или отсутствия инцидентов функционирования. Типовой инцидент (рис. 1) описывается объектом контроля, типом комплекса средств автоматизации (КСА) – узла информационной системы, на котором он может произойти, подмножеством эталонных значений параметров конфигурации и штатного функционирования информационной системы, возможными внешними проявлениями, категорией, нормативным временем устранения, ответственным исполнителем, типовыми рекомендациями и управляющими командами, позволяющими автоматически закрыть инцидент.

На основании сформированного набора требований и измеренных параметров можно оценивать техническое состояние системы как удовлетворяющее или не удовлетворяющее требованиям. Такая градация состояний системы позволяет оперативно-диспетчерскому и обслуживающему персоналу системы оперативно реагировать на возникающие в системе инциденты. Однако такой вариант подхода к мониторингу информационной системы недос-

таточно эффективен, так как реагирование на инцидент осуществляется после того, как он произошел. Для повышения качества и эффективности мониторинга необходимо ввести дополнительное – третье состояние, которое может быть определено как «состояние предупреждения» или «граничное состояние». Для этого на основании экспертных оценок описываются значения отдельных параметров или связанных множеств, достижение которых говорит о развитии особой ситуации, способной привести к возникновению инцидента. Использование такого дополнительного состояния системы позволяет оперативно-диспетчерскому и обслуживающему персоналу принимать проактивные меры и предотвращать возможные инциденты еще до их появления, до негативного влияния на автоматизируемые бизнес-процессы.

Рис. 1

Комплексная оценка при этом формируется на основании наличия инцидентов или граничных состояний по каждому из оцениваемых параметров и представляет собой два числа: количество неразрешенных инцидентов функционирования и количество КСА (или конкретных технических средств) с граничными значениями параметров функционирования.

Таким образом, исходной информацией для проведения оценки и оперативного мониторинга технического состояния информационной системы должны быть следующие данные:

– перечень критических узлов системы, оценка параметров которых будет составлять оценку всей системы;

– перечень параметров состояния системы, по которым будет проводиться проверка;

– набор значений параметров, характеризующий появление предпосылок к возникновению инцидента (граничные значения параметров);

– набор значений параметров, характеризующий возникновение инцидента (критические значения параметров).

Предлагаемая организация параметров мониторинга системы упрощает работу с инцидентами и граничными состояниями.

Инцидентная модель также предполагает достаточно простую интеграцию со средствами хранения исходной информации – базами знаний по инцидентам функционирования информационной системы. Для повышения вероятности предотвращения инцидента при возникновении граничного состояния, уменьшения времени восстановления работоспособности системы после возникновения инцидента, а также обеспечения возможности принятия оперативных управленческих решений по минимизации последствий фактического инцидента для каждого из контролируемых параметров должны быть введены в базу знаний:

– его подробное описание;

– описание способов его измерения и контроля;

– возможные последствия возникновения инцидента по этому параметру;

– ссылки на зависимые элементы системы;

– указания мер по устранению инцидента и его последствий.

Это позволит накапливать опыт, получаемый оперативно-диспетчерским персоналом в процессе эксплуатации системы, и использовать его вне зависимости от кадровых перемен.

В качестве примера рассмотрим организацию мониторинга и оценки технического состояния Государственной автоматизированной системы (ГАС) «Выборы». ГАС «Выборы» представляет собой совокупность территориально-распределенных комплексов средств автоматизации избирательных комиссий различных уровней, объединенных подсистемой связи и передачи данных (ПСПД).

Определяющую роль в контроле состояния и работоспособности ГАС «Выборы» играет соответствие КСА, как основных и наиболее ответственных элементов системы, эталонным конфигураторам, которые регламентируют следующие элементы системы:

– состав технических средств;

– общее программное обеспечение (ОПО);

– специальное программное обеспечение (СПО);

– информационное обеспечение (база данных).

Исходя из этого, состав параметров, по которым оценивается состояние системы, и их группировка основываются на соответствии конфигураторам этих элементов для каждого КСА, с дополнительной группой параметров оценки функционирования связующего элемента системы – ПСПД.

Учитывая большую территориальную распределенность системы и удаленность обслуживающих организаций, в состав параметров оценки системы введена группа параметров, характеризующих качество и своевременность выполнения регламентных и профилактических работ на КСА, а также укомплектованность обслуживающих организаций запасными частями и обменным фондом.

Совокупность инцидентов на комплексах средств автоматизации для каждого объекта контроля составляет образ текущего состояния ГАС «Выборы». Для оценки текущего состояния пользователю отображается информационное табло (рис. 2).

Объект контроля	Количество инцидентов на КСА ЦИК	Количество региональных фрагментов ГАС «Выборы» с инцидентами		
		Субъектов	КСА ИКСРФ	КСА ТИК
Технические				
ТС	2	4	3	8
ОПО				
СПО		2	1	1
БД				
ПСПД		3		6
ПОБИ				
Технологическая копия Интернет-портала	1			
Организационные				
Регламент инф. обмена		12	3	20
Регламентные работы				
Обменный фонд (ЗИП)				
Поставки ПТС				

Рис. 2

Данное информационное табло позволит как классифицировать проблемы по заинтересованным лицам, так и определить общее состояния КСА ГАС «Выборы». Отсутствие инцидентов говорит о штатном функционировании ГАС «Выборы». Модель штатного состояния ГАС «Выборы» приведена на рис. 3.

Рис. 3

Штатное состояние функционирования КСА складывается на основании штатного состояния объектов контроля, которые должны соответствовать заданным эталонным параметрам функционирования. Отклонения от штатного состояния отображаются пользователю на информационном табло как информация о количестве КСА с инцидентами.

Применяемая группировка параметров функционирования позволила оптимизировать процесс уведомления оперативно-диспетчерского персонала системы о возникающих граничных состояниях и инцидентах, предоставляя информацию о таких ситуациях конкретным сотрудникам, ответственным за решение именно этой области проблем. Руководству предоставляется комплексная оценка эффективности работы информационной системы, а в случае возникновения инцидентов – информация об ответственных за их устранение и о возможных последствиях.

Таким образом, построение процессов мониторинга и оценки технического состояния информационной системы на основе инцидентной модели существенно повышает эффективность использования системы путем оперативного формирования обобщенных и детализированных оценок функционирования для разных категорий пользователей системы, уменьшения вероятности возникновения инцидентов и минимизации их последствий за счет их своевременного распознавания.

S. A. Romanenko, S. A. Belyaev, A. A. Zavalishin

MONITORING AND EVALUATING TECHNICAL STATE, BASED ON AN INCIDENT DISCOVERY MODEL

This article describes the process of monitoring and evaluating the level of services, provided by an information system by means of discovering and analyzing incidents.

Systems monitoring, information system technical state, incident discovery model, parameters of technical state

УДК 007:681.512.2

А. В. Васильев, А. О. Дерипаска, Н. А. Жукова

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ В ЗАДАЧЕ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Описывается алгоритм распознавания образов телеметрических параметров, основанный на экстенсиональном подходе и адаптированный для обработки большого объема данных. Алгоритм позволяет распознавать неизвестные параметры по известным шаблонам и формировать группы параметров для построения новых шаблонов.

Модели описания измерительных данных, интеллектуальная обработка данных, информационно-аналитические программные комплексы

Задача контроля состояния сложного динамического объекта (СДО) рассматривается как определение изменения параметров контролируемого объекта. Под параметрами объекта понимаются характеристики функционирования СДО в процессе испытаний или эксплуатации, полученные контрольно-измерительными системами (телеметрическая информация). Состав параметров определяется программой контроля характеристик при испытаниях (эксплуатации). Общий объем передаваемых параметров составляет примерно 1000 для каждого объекта. Параметры подразделяются на допусковые, предназначенные для контроля попадания характеристик в заданные интервалы, и функциональные, совокупность поведения кото-

рых определяет состояние функционирования СДО по его целевому назначению. Функциональные параметры относятся к информационно-ценным и составляют порядка 20–30 % от общего объема.

Одной из основных проблем является сложность поиска функциональных параметров из множества поступающих параметров и определение степени их отличия по сравнению с ранее полученными, особенно при ручном способе обработки данных. Отсутствие автоматизированной обработки объясняется в первую очередь вычислительной сложностью алгоритмов анализа данных и большим объемом обрабатываемых данных. Современный уровень развития вычислительной техники позволяет автоматизировать процесс анализа функциональных параметров.

Формальная постановка задачи. Множество телеметрических параметров, передаваемых с объекта, представляется в виде $X = \{x_j\}, \quad x = \{(t_i, v_i)\}, \quad i = 1, ..., n, \quad j = 1, ..., k$, где x – телеметрический параметр; t_i – время i-го измерения параметра; v_i – значение параметра в момент t_i; n – длина параметра; k – количество передаваемых параметров. Для каждого параметра определен его тип: $y_l \in Y, \quad l = 1, ..., p, \quad p \le n$, где Y – множество известных типов; p – количество типов, т. е. задано отображение множества передаваемых параметров X на множество типов Y: $g : X \to Y$. Значения типа известны только для части параметров $X^m = \{(x_1, y_1), \ldots, (x_m, y_m)\}$, где m – количество параметров с априорной информацией о типе.

Задача состоит в построении алгоритма распознавания $a : X \to Y', \quad Y' \supseteq Y$ должен распознать произвольный параметр $x \in X$ и при необходимости расширить множество типов. При определении типа нового параметра множество Y при необходимости может быть расширено.

В работах [1], [2] выделяются две основные группы методов распознавания образов: интенсиональные и экстенсиальные методы. Интенсиональные методы распознавания образов основаны на операциях с признаками. Экстенсиональные методы распознавания образов основаны на операциях с объектами.

В настоящей статье рассматривается алгоритм распознавания образов, основанный на экстенсиональном подходе и адаптированный для обработки большого объема данных.

Общий подход к распознаванию телеметрических параметров [3], [4] предполагает выполнение следующих этапов: формирование описания параметров, формирование образов типов, распознавание нового параметра (рис. 1).

Этап 1. Формирование описания телеметрического параметра. Процесс формирования описания параметра включает сегментацию параметра, формирование описания сегментов и формирование описания параметра. На этапе сегментации параметра, с использованием алгоритмов сегментации [5], для каждого параметра формируется множество сегментов $x' = \{S_j\}, \quad S_j = \{t_i, v_i\}, \quad j = 1, \ldots, m$, где S_j – сегмент параметра; m – количество сегментов. Каждый сегмент S_j описывается вектором описаний S'_j. После сегментации параметр представляется в виде множества описаний сегментов $x'' = \{S'_j\} \; j = 1, \ldots, m$. Обобщенное описание формируется путем объединения описаний сегментов в единый вектор h, который состоит из последовательно составленных описаний сегментов.

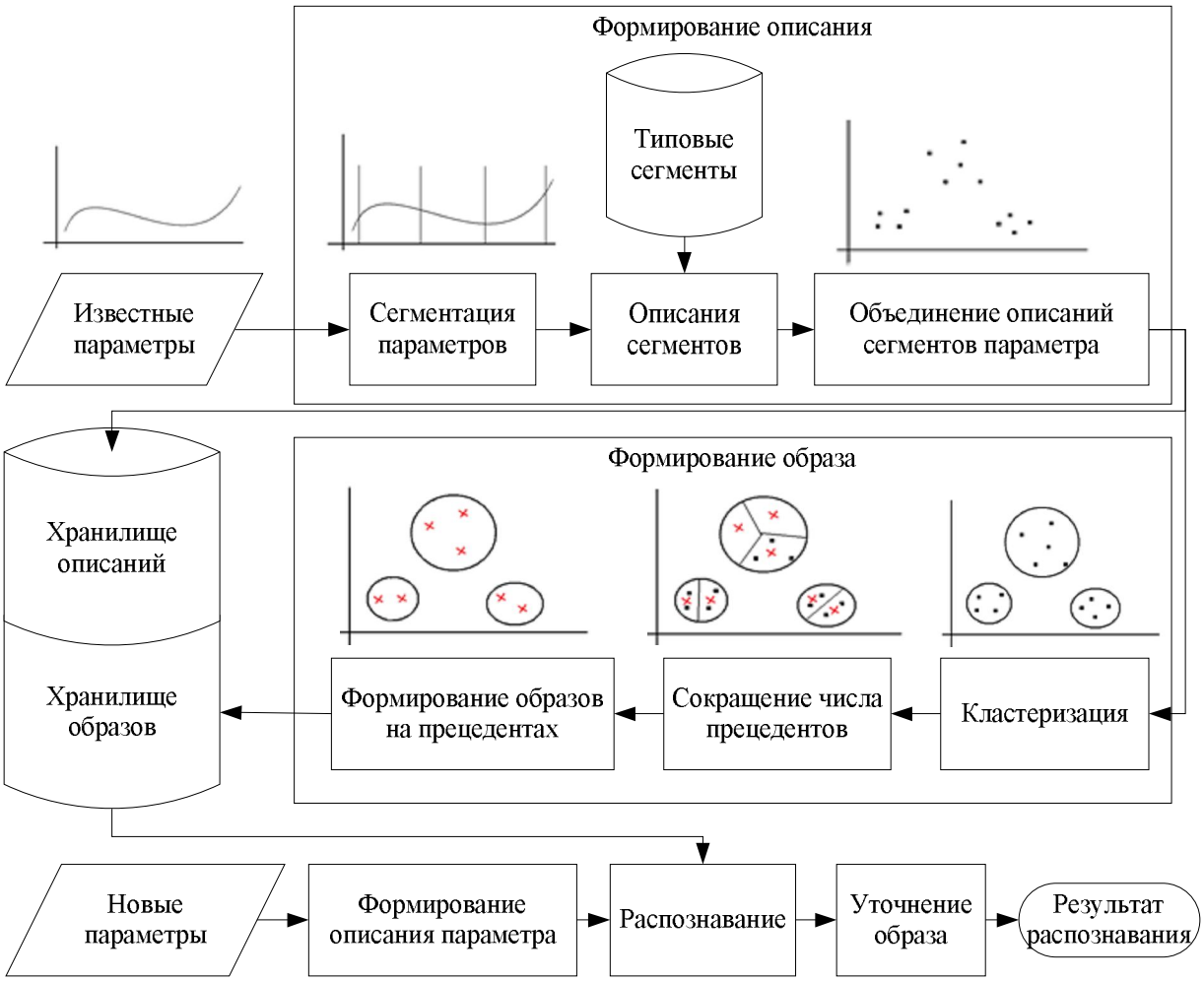


Рис. 1

Этап 2. Формирование образов. С помощью алгоритма кластеризации [6] параметры разделяются на N_{Clust} кластеров. На вход алгоритма кластеризации подается множество описаний имеющихся параметров $\{h_i\}$. Результатом кластерного анализа является множество кластеров $\{Z_1, \ldots, Z_{N_{\text{Clust}}}\}$. Каждый кластер соответствует только одному типу и содержит множество векторов описаний принадлежащих ему параметров $Z_j = \{h_i\}$. По результатам кластерного анализа строятся образы типов, основанные на прецедентах. Образ типа содержит множество кластеров $E = \{Z_i\}$, где Z_i – кластер, вошедший в образ, $O = \langle O^+, O^- \rangle$. В результате образ содержит большое количество описаний параметров, что затрудняет процесс хранения образа. Для сокращения размерности кластеров Z каждый кластер делится на заданное оператором количество частей [7] так, чтобы минимизировать показатель качества $J = \sum_{j=1} \sum_{x \in Z^j} \left\| x - m_j \right\|$, где Z^j – j-я часть кластера; m_j – центр j-й части кластера. Каждый кластер описывается множеством описаний центров частей кластера $\{e_1, \ldots, e_N\}$, где N – количество частей; e_j – описание части кластера. Описание части кластера $e_j = \{m_j, w_j\}$ содержит значение центра части m_j и вес w_j – количество параметров, по которым высчитывался центр части кластера.

Этап 3. Процесс распознавания параметров. Алгоритм распознавания нового параметра заключается в вычислении расстояний от вектора описания параметра до всех прецедентов каждого класса. Вектор считается принадлежащим тому типу, для прецедентов которого расстояние минимально. Сложность алгоритма распознавания $O(n \log n)$, где n – количество параметров.

Если задачей является распознавание большого числа параметров и значительная часть которых не имеет априорной информации о типе, то применять описанный алгоритм распознавания нецелесообразно. В этом случае необходимо применять алгоритм, описанный на этапе формирования образов. Алгоритм кластеризации при формировании кластеров учитывает принадлежность параметра типу таким образом, чтобы параметры, принадлежащие разным типам, не попадали в один кластер. Если в кластере находятся элементы с априорно известным типом, то все остальные параметры из этого кластера тоже считаются принадлежащими этому типу. Если в кластере нет параметров с априорно известным типом, то формируется новый тип. Данная модификация позволяет производить распознавание большого числа объектов и расширить множество типов.

Алгоритм кластеризации. В основу алгоритма формирования образов положен алгоритм кластерного анализа [8], [9]. На вход алгоритма подаются описания телеметрических параметров. В результате работы алгоритма формируются кластеры таким образом, чтобы кластеры соответствовали распознаваемым типам, что позволяет произвести распознавание неизвестных параметров и при необходимости расширить множество типов.

Алгоритм кластеризации для применения его в алгоритме формирования образов параметров должен обеспечить адаптивный выбор количества кластеров и при разбиении на кластеры учитывать априорные данные. В качестве базового алгоритма используется алгоритм адаптивного выбора подклассов (АВП). Основное преимущество выбранного алгоритма состоит в том, что количество классов не фиксировано.

Этап 1. Инициализация алгоритма. Начальная инициализация и обработка первого вектора. Если существуют векторы с заданной априорной информацией о типе, то берется первый вектор из них. Формируется первый кластер из текущего вектора признаков $Y = \{y_1, y_2, ..., y_{n_1}\}$ с центром $e^{(1)} = \{y_1, y_2, ..., y_{n_1}\}$, массив числа точек в сформированных кластерах $km^{(1)} = 1$, количество сформированных кластеров $mu = 1$.

Этап 2. Обработка последующих векторов. Определяется расстояние w_1 от следующего вектора Y до множества $e^{(1)}$ и для $\forall \quad l = \overline{2, mu}$ рассчитывается расстояние w_2. Для учета априорной информации в алгоритме кластеризации модифицирована функция расчета расстояния между векторами. Если векторы принадлежат разным типам, то расстояние между ними считается бесконечным:

$$w = \begin{cases} \infty, & y_i \in E_a, e_i^{(l)} \in E_b, a \neq b; \\ \sum\limits_{i=1}^{n_1} (y_i - e_i^{(l)})^2, & y_i \in E_a, e_i^{(l)} \in E_a. \end{cases}$$

Если $w_2 < w_1$, то $w_1 = w_2$. В этом случае текущий вектор признаков добавляется в новый кластер, если число сформированных кластеров меньше максимально возможного числа кластеров, добавляется в уже существующий кластер l, если $w_1 < t^{(l)}$, и заменяет один из существующих кластеров после их слияния.

Добавление вектора в новый кластер осуществляется аналогично обработке первого вектора. Добавление вектора в уже существующий кластер l осуществляется по следующим формулам: $km^{(l)} = km^{(l)} + 1$, $e_i^{(l)} = \dfrac{e_i^{(l)} km^{(l)} + y_i}{km^{(l)} + 1}$.

Объединяются два кластера m_1 и m_2, расстояние $w_1 = \sum_{i=1}^{n_1} (e_i^{(m_1)} - e_i^{(m_2)})^2$ между которыми минимально. В результате объединения двух кластеров m_1 и m_2 формируется новый кластер m_1.

Таким образом, в каждом кластере могут находиться элементы, принадлежащие одному типу. Все остальные параметры из этого кластера тоже считаются принадлежащими этому типу. Если появляется кластер, в котором нет параметра с априорно известным типом, то все векторы кластера считаются принадлежащими новому, ранее не известному типу.

Описание экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования проводились на пяти наборах данных, полученных в результате функционирования объекта в различные периоды (сеансы). Четыре набора данных получены при штатном режиме функционировании объекта, один – при аварийном. Исследуемый объект включает в состав четыре однотипных блока с одинаковым набором параметров. Общий объем параметров в одном наборе данных составляет около 1000 параметров.

При проведении экспериментальных исследований первые четыре сеанса взяты в качестве обучающей выборки. В качестве тестовой выборки рассматривались данные, полученные в ходе аварийного сеанса.

В таблице показаны результаты распознавания параметров по набору признаков. Для локализации аномалии алгоритм распознавания образов применяется к набору сформированных сегментов. Видно, что поведение параметра ВПРд сильно отличается от остальных. Это позволяет сделать вывод об аномальном поведении параметра.

Параметр	Сегмент 1	Сегмент 2	Сегмент 3	Сегмент 4	Сегмент 5
ВПРб	*Кластер 1*	*Кластер 2*	*Кластер 3*	*Кластер 4*	*Кластер 5*
ВПРв	*Кластер 1*	*Кластер 2*	*Кластер 3*	*Кластер 4*	*Кластер 5*
ВПРг	*Кластер 1*	*Кластер 2*	*Кластер 3*	*Кластер 4*	*Кластер 5*
ВПРд	*Кластер 1*	*Кластер 2*	***Кластер 7***	*Кластер 4*	***Кластер 6***

На рис. 3 показанно графическое представление результатов распознавания в пространстве главных компонент.

Кластеры с первого по пятый содержат в себе сегменты соответствующих номеров. Так, первый кластер содержит первые сегменты всех, и т. д. Кластеры 6 и 7 содержат сегменты с номерами 5 и 3 параметра ВПРд, что свидетельствует о возникновении отклонений в поведении параметров в интервалы времени [–3; 0] и [4; –45] соответственно.

Реализованный алгоритм подтвердил работоспособность на реальных данных и полностью удовлетворяет требованиям:

– *по скорости работы*: сложность алгоритма формирования образов не более $O(n^2)$. Дальнейшее распознавание имеет сложность $O(n \log n)$. Преимущество базового алгоритма очевидно при малой размерности обучающей выборки, но с ростом обучающей выборки и с увеличением числа распознаваемых параметров преимущество – у модифицированного алгоритма. Новый алгоритм предназначен для работы с большими объемами данных;

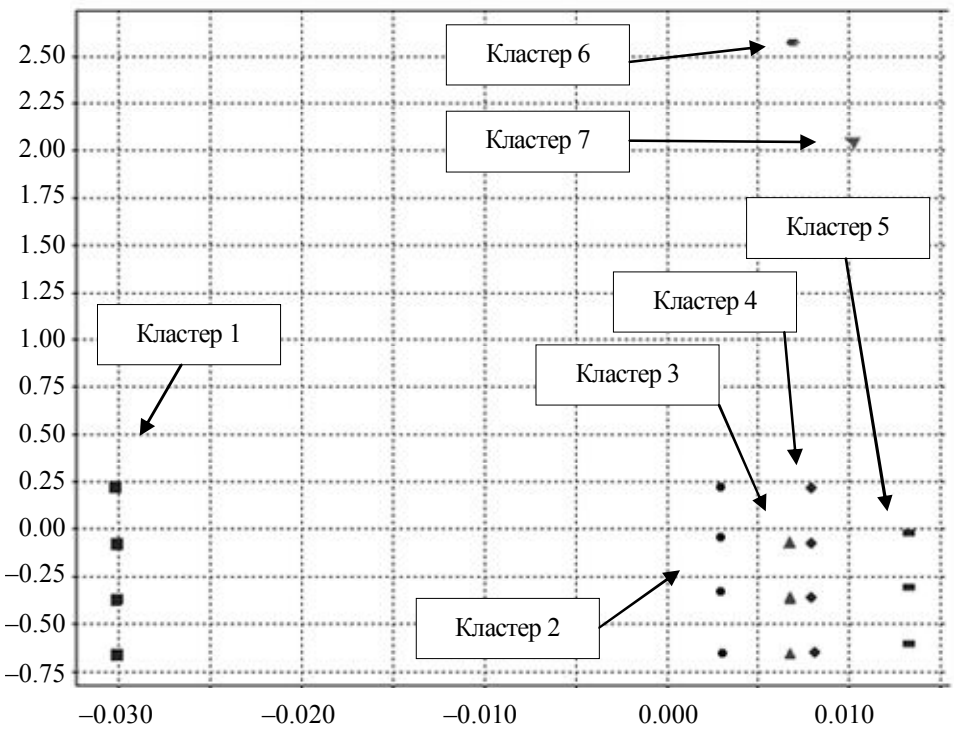


Рис 2

– *по объему обрабатываемых данных*: алгоритм позволяет обрабатывать порядка 100 параметров за один проход. Обработка одного группового телеметрического сигнала (объем составляет порядка 1000 параметров) выполняется за 10 итераций;

– *точности*: по результатам экспериментальных исследований на реальных данных установлено, что точность распознавания составила 97 %. Исследования проводились на 1000 параметров, из них 30 % – обучающая выборка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. М.: Мир, 1978. 411 с.
2. Захаров В. Н., Попов Э. В., Поспелов Д. А. Искусственный интеллект: Справочник. В 3 т. М.: Радио и связь, 1990. Т. 3. 365 с.
3. Назаров А. В., Козырев Г. И., Шитов И. В. Современная телеметрия в теории и на практике. СПб.: Наука и техника, 2007. 627 с.
4. Растригин Л. А., Эренштеин Р. Х. Метод коллективного распознавания. М.: Энергоиздат, 1981. 79 с.
5. Duda R., Hart P., Stork D. Pattern Classification. 2 ed. Wiley-Interscience, 2000. 654 p.
6. Мандель И. Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1988. 176 с.
7. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. 1 ed. Springer, 2006. 738 p.
8. Gibson W. Pattern Recognition. Berkley, 2005. 368 p.
9. Theodoridis S., Koutroumbas K. Pattern Recognition. 4 ed. Academic Press, 2008. 689 p.

A. V. Vasiljev, A. O. Deripaska, N. A. Zhukova

APPLICATION OF PATTERN RECOGNITION ALGORITHMS IN COMPLEX OBJECTS STATE CONTROL PROBLEM

In the paper algorithm for telemetric parameters pattern recognition that is based on extensional approach and is adapted for processing of huge amount of data is described. The algorithm allows to distinguish unknown parameters using known templates and to form groups of parameters for new templates construction.

Measuring data models o description, intellectual data processing, information-analytical systems.

УДК 164+61+519.22

О. А. Маркелов, Б. И. Смирнов

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ ПРИ МАЛОМ ОБЪЕМЕ ДАННЫХ*

Рассмотрено создание логистической регрессии на базе медико-биологических данных с учетом вопросов целостности данных и адекватности полученной модели с применением разведочного анализа.

Шкалы данных, логистическая регрессия, разведочный анализ, контрасты категориальных переменных, целостность данных, критерий pseudo R^2

Современную медицину невозможно представить себе без использования точных и надежных методов анализа и прогнозирования (в литературе существует термин «доказательная медицина»). Анализ медицинских данных имеет свои особенности, часто данные имеют малый объем, не всегда однородны, встречаются пропуски некоторых параметров, потерянных по различным причинам, и т. д. На практике полученные результаты часто не укладываются в нормальное распределение. Приходится использовать непараметрические методы анализа. Еще одной особенностью медико-биологических данных является наличие номинальных или номинативных (имеющих только имя) параметров, которые только отмечают некоторую особенность, но не могут быть упорядочены.

Центральной задачей исследования часто является выявление факторов (далее будем называть их предикторами), которые влияют на идентификацию пациента и отнесение его к одной из двух групп. Далее для примера исследуется отнесение пациентов к группе ИБС (ишемическая болезнь сердца) или к группе ИБС с эпизодами стресса и депрессии. Эти факторы изучаются на материалах базы медико-биологических данных пациентов кафедры факультетской терапии СПб ГМУ им. акад. И. П. Павлова. Результатом исследования стало логистическое регрессионное уравнение, которое позволяет на этапе первичного визита пациента идентифицировать заболевание. Это дает возможность более доказательно сформулировать первичное заключение о предполагаемом лечении, сократить время выбора типа терапии и, в конечном счете, уменьшить стоимость исследований и последующего лечения.

Для проведения линейного регрессионного анализа зависимая переменная должна иметь интервальную или непрерывную шкалу [1]. В то же время бинарная логистическая регрессия выявляет вероятностную связь между дихотомической зависимой переменной и независимыми переменными, относящимися к любой шкале данных. Рассматриваемый случай относится к последнему варианту, так как зависимая переменная – отнесение пациента к одной из двух групп – является дихотомической.

Обычно в прикладной статистике используют следующие типы переменных: номинальная, порядковая, непрерывная и относительная.

- К номинальной статистической шкале относятся категориальные переменные.
- Переменные, для которых используются численные значения, соответствующие постепенному изменению эмпирической значимости, относятся к порядковой шкале.
- Переменные, у которых разность (интервал) между двумя значениями имеет эмпирическую значимость, относятся к интервальной шкале.

---

* Продолжение см. в № 1 за 2011 г. в рубрике «Радиоэлектроника и телекоммуникации».

• К относительной шкале данных относятся те переменные, для которых эмпирическую значимость приобретают не сами значения переменной, а их отношение.

Рассмотрим построение бинарной логистической регрессии. С ее помощью оценивается степень влияния ряда независимых переменных (предикторов) на бинарную зависимую переменную (критерий). В качестве зависимой переменной выступает грпСрв1, а потенциальные предикторы должны быть выявлены в ходе разведочного статистического анализа. Переменная грпСрв1 как раз и отвечает за отнесение пациента в ту или иную группу, и задача состоит в том, чтобы по заданному набору предикторов спрогнозировать группу лечения пациента.

Обычно для построения уравнения логистической регрессии используется набор данных, которые могут быть интересны исследователю, и запускается процедура вычисления. При этом следует иметь в виду, что статистические пакеты общего назначения, такие, как Statistica, SPSS, NCSS и др., допускают 3 режима вычисления регрессии:

• режим пошагового включения, когда в модель на первом шаге включается самая значимая переменная, а на каждом следующем шаге добавляется та переменная, которая обладает наиболее сильными характеристиками из оставшихся;

• режим пошагового исключения, когда в модель на первом шаге включается весь набор переменных, а на каждом следующем шаге из модели исключается переменная, которая вносит наименьший вклад в модель, до тех пор пока в модели не останутся только значимые переменные;

• режим ввода, причем в модель включаются сразу все переменные, указанные исследователем.

Для категориальных переменных параметры значимости на включение и исключение задаются указанием контрастов. В SPSS 15 используются следующие контрасты[*]:

• Deviation – сравнение отклонений от общего среднего.

• Difference – сравнение уровней значимости с усредненными уровнями значимости предыдущих шагов.

• Simple – сравнение каждого уровня значимости с предыдущим уровнем.

• Polynomial – использование ортогональных полиномов.

• Repeated – сравнение уровней значимости соседних критериев.

• Indicator – включение в модель предиктора с наименьшим уровнем значимости.

Используя контрасты категориальных переменных, можно указывать метод обработки каждого предиктора и анализа для его включения или исключения на каждом следующем шаге. В данном случае использование контрастов не играет большой роли, так как категориальные переменные являются дихотомическими, в таких случаях целесообразно использовать контраст Indicator.

Для категориальных переменных, значения которых не могут быть указаны по различным причинам, во многих случаях вместо пустых ячеек используют различные обозначения, например, значение «не вводилось». Это сделано для того, чтобы при анализе было проще исключить пустые ячейки (missing data). Использование процедуры логистической регрессии в случае малого объема

[*] UCLA Academic Technology Services, Statistical Consulting [Электронный ресурс] // http://www.ats.ucla.edu/stat/

данных иногда бывает затруднительно вследствие наличия пропущенных данных (missing data), особенно при большом количестве переменных анализа. Дело в том, что анализу подлежат только полные случаи, в которых нет пропусков, и чем больше использованных независимых переменных для построения регрессии, тем меньше объем целостных данных при прочих равных условиях. При выполнении регрессионного анализа естественно желание исключить независимые переменные, которые не влияют на зависимую и вносят в анализ только «шум», например своими пропущенными значениями. Для этих целей в алгоритм построения логистической регрессии целесообразно включить разведочный анализ.

Разведочный анализ – предварительный анализ данных с целью выявления наиболее общих закономерностей и тенденций, характера и свойств анализируемых данных, законов распределения анализируемых величин. Обычно применяется для нахождения связей между переменными в ситуациях, когда отсутствуют (или недостаточны) априорные представления о природе этих связей [2]. В данном случае разведочный анализ используется для сужения круга зависимых переменных (если провести аналогию с радиотехникой, то данная методика производит предварительную фильтрацию и позволяет увеличить отношение сигнал/шум на входе). При построении логистической регрессии с помощью разведочного анализа из числа представленных для анализа переменных создается список потенциальных предикторов, которые имеют связи с зависимой переменной.

В результате разведочного анализа для использованного примера из первоначального набора предикторов (около 100) был выделен массив категориальных (11) и массив непрерывных переменных (21), которые влияли на зависимую переменную. Критерием отбора переменных является уровень двусторонней значимости $p = 0.05$, использованы непараметрические тесты для непрерывных переменных и тесты Фишера и χ-квадрат для категориальных переменных. Необходимость использования при разведочном анализе двусторонней значимости обусловлена тем, что при анализе отсутствует априорная информации о характере различий центральных тенденций переменных в сравниваемых группах, поэтому нулевой гипотезе о равенстве центральных тенденций противопоставляется альтернативная об их неравенстве.

Для наглядного представления результатов разведочного анализа удобно использовать бокс-диаграммы*. Пример такой диаграммы для индекса массы тела (ИМТ1) в категориях целевой переменной грпСрв1 представлен на рис. 1.

Нижняя граница бокса на рис. 1 соответствует 25-й % квантили, а верхняя граница – 75-й % квантили. Жирная горизонталь внутри бокса показывает медиану распределения переменной ИМТ1 по каждой категории переменной грпСрв1. Верхний и нижний «усики» диаграммы вычисляются как 3/2 до 3 размера бокса от соответствующей границы. В пределах «усиков» диаграммы для нормальной переменной сосредоточено приблизительно ~2σ (σ – среднеквадратическое отклонение) значений переменной. Дополнительными, очень информативными значениями для медико-биологических исследований являются extreme cases и outliers.

Кружками (extreme cases) отмечены отклонения от общего распределения, а звездочками (outliers) – невероятные значения. Напротив каждого из таких отклонений стоит число – порядковый номер пациента в БД. Эти точки имеют важное значение для статистического анализа, так как

* http://en.wikipedia.org/wiki/Box_plot

отклонения могут быть как промахами, так и наличием сопутствующих заболеваний (последнее влияет на однородность случаев в группе). Использование или отбрасывание значений с категориями «outliers» − важнейшая задача разведочного анализа при построении регрессионной модели и решается она статистиками и медиками совместно.

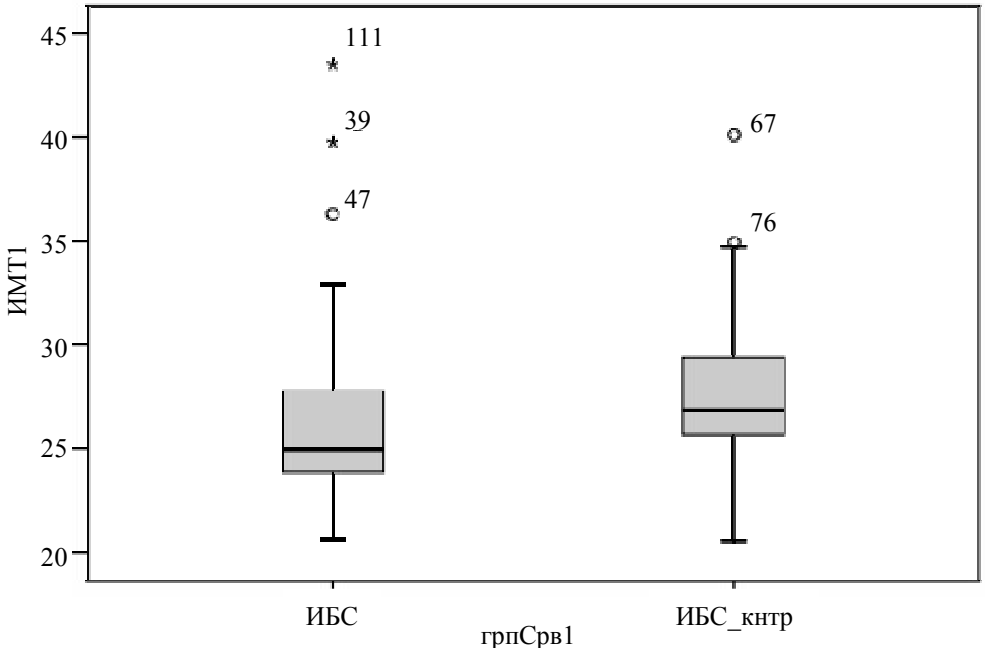


Рис. 1

Схему алгоритма построения логистической модели с учетом включения в него разведочного анализа, использования процедуры логистической регрессии и некоторых других, описанных далее, можно представить в виде рис. 2.

Все данные для построения регрессионной модели содержатся в исходной базе данных (блок 1 на рис. 2). После проведения разведочного анализа список потенциальных предикторов – независимых переменных логистической регрессии – резко сокращается (блоки 2 и 3). Как правило, удовлетворительная логистическая модель строится после нескольких попыток. Первая модель ($J = 1$), которая обычно содержит все потенциальные предикторы, редко бывает удачной (блоки 3–6), поэтому процедуру приходится повторять (блоки 7, 8).

Процедура пошаговой регрессии (блок 5) вычисляет весовые коэффициенты регрессионного уравнения (B_i), их значимости и качество всей модели (валидность, иногда используется термин «внутренняя валидность»[*]) в целом. Если уровень значимости $p \leq 0.05$, то считается, что данный предиктор не случаен (устойчив) и может быть включен в модель (блок 6), в противном случае необходимо выбрать другой набор предикторов из числа потенциальных и перейти к следующей модели (блоки 7-8-4). При этом весьма значительную роль при построении модели играет включение или невключение в регрессионное уравнение константы (B_0).

Валидность полученной модели является очень важным моментом при построении модели (блок 10 на рис. 2). Одним из критериев оценки валидности модели является параметр R^2. Величина R^2, называемая также мерой определенности, характеризует качество полученной регрессион-

[*] http://dic.academic.ru/dic.nsf/business/1945

ной кривой. Это качество выражается степенью соответствия между исходными данными и регрессионной моделью (расчетными данными). В большинстве случаев значение R^2 находится между нулем и единицей. Если значение R^2 близко к единице, это означает, что построенная модель объясняет почти всю изменчивость соответствующих переменных. И наоборот, значение R^2, близкое к нулю, означает плохое качество построенной модели.

Рис. 2

При построении логистической регрессии должен быть использован критерий pseudo R^2**, который позволяет оценить вариации, описываемые вероятностной моделью. Использованные значения pseudo R-квадрата представлены в пакете SPSS в вариантах Кокса и Снелла (Cox & Snell R Square) и R^2 Нэйджелкерка. Они показывают долю влияния всех предикторов модели на вариации зависимой переменной. Коэффициент R^2 Кокса и Снелла показывает сходимость логистической регрессии – чем выше значение, тем лучше сходится регрессия. Максимальное значение R^2 Кокса и Снелла меньше 1, что несколько затрудняет использование этой оценки. Коэффициент R^2 Нэйджелкерка охватывает диапазон от 0 до 1. В модели получено значение R^2 Нэйджелкерка, равное 0.68.

В литературе иногда приводится следующая экспертная шкала для оценки качества модели по значениям R^2 (табл. 1).

Таблица 1

Значение R^2	Качество модели
0.9…1.0	Отличное
0.8…0.9	Очень хорошее
0.7…0.8	Хорошее
0.6…0.7	Среднее
0.5…0.6	Неудовлетворительное

Регрессионная модель прогнозирует отнесение пациента к одной из двух групп зависимой переменной грпСрв1: пациентов с ИБС (ИБС_кнтр) или пациентов ИБС с эпизодами депрессии и стресса (ИБС). Любой прогноз сопровождается ошибками, которые могут быть классифицированы четырьмя возможными ситуациями:

- правильное предсказание принадлежности к группе ИБС_кнтр при фактической принадлежности к этой группе. Обычно в прикладной статистике вероятность этого состояния называют мощностью (или чувствительностью) теста;
- неправильное предсказание принадлежности к группе ИБС при фактической принадлежности к группе ИБС_кнтр. Вероятность этого состояния обычно оценивают как «1 – мощность», или ошибка 2-го рода;
- правильное предсказание принадлежности к группе ИБС при фактической принадлежности к этой группе. Обычно в прикладной статистике вероятность этого состояния называют специфичностью теста;
- неправильное предсказание принадлежности к группе ИБС_кнтр при фактической принадлежности к группе ИБС. Вероятность этого состояния обычно оценивают как «1 – специфичность», или ошибка 1-го рода.

Рассмотрим использование блоков 1–10 данного алгоритма для построения логистической регрессии зависимой переменной грпСрв, которая отвечает за отнесение переменной к одной из двух групп лечения (как было указано ранее). Исходя из этого, значениям дихотомической переменной грпСрв ставятся в соответствие коды 0 и 1.

Уравнение бинарной логистической регрессии выглядит следующим образом: $p = \frac{1}{1+e^{-z}}$, где p – вероятность отнесения пациента к группе ИБС или ИБС с эпизодами стресса; z – ли-

** http://www.ats.ucla.edu/stat/mult_pkg/faq/general/Psuedo_RSquareds.htm

нейное регрессионное уравнение: $z = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 + B_3x_3 + ... + B_mx_m$. Здесь x_i – значения независимых переменных (предикторов); B_i – коэффициенты регрессии, расчет которых и является задачей бинарной логистической регрессии. На рис. 3 представлен вид логистической кривой, соответствующей данному уравнению. Здесь по оси абсцисс отложены значения переменной z, а по оси ординат – вероятность p.

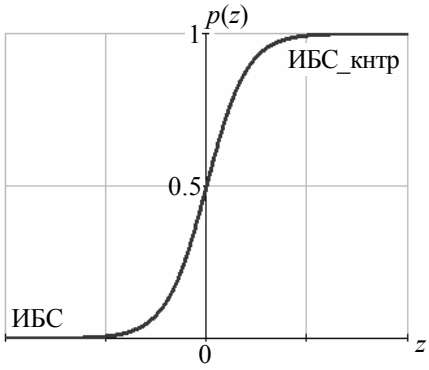


Рис. 3

В данном случае анализ ведется относительно вероятности предсказания состояния «ИБС_кнтр», т. е. пациентов контрольной группы. Точкой раздела этих двух состояний является вероятность 0.5, которой соответствует значение z = 0. Т. е. положительные значения переменной z будут указывать на принадлежность случаев анализа к группе контроля (пациентов с ИБС), а отрицательные – к группе пациентов ИБС с эпизодами депрессии и стресса.

В результате использования процедуры бинарной логистической регрессии в 5-й и 7-й моделях были получены примерно одинаковые качественные показатели (табл. 2).

Таблица 2

Модель	Observed		Predicted		
			грпСрв1		Percentage Correct
			ИБС	ИБС_кнтр	
5	грпСрв1	ИБС	26	3	89,7
		ИБС_кнтр	3	19	86,4
	Overall Percentage				88,2
7	грпСрв1	ИБС	30	7	81,1
		ИБС_кнтр	5	28	84,8
	Overall Percentage				82,9

Мощность теста (процент правильного прогнозирования состояния БИС_кнтр при наблюдении этого состояния) была 86.4 и 84.8 %, а специфичность 89.7 и 81.1 % соответственно. Для логистической регрессии это весьма высокие показатели, однако даже из табл. 2 видно, что объем использованных в модели 5 данных был меньше, чем в модели 7 (в модели 5 было использовано больше предикторов, но и больше пропущенных данных), и это заставило принять в качестве рабочей модель 7. Для рабочей модели было установлено, что исследуемая переменная

$$z = -3.446x_1 - 2.451x_2 - 2.452x_3 + 0.071x_4$$

зависит от трех категориальных переменных (эпизоды депрессии x_1, эпизоды стресса x_2, алкоголь x_3), принимающих значение 1 или 0, и одной непрерывной переменной (результат Сиэтлского опросника стенокардии x_4).

Адекватность (внешняя валидность – вид валидности, определяющий то, насколько результаты конкретного исследования можно распространить на весь класс подобных)* построенной модели принято проверять на другом наборе данных (блоки 11 и 12). Как правило, такого контрольного набора данных нет, поэтому рекомендуется поступать следующим об-

* http://dic.academic.ru/dic.nsf/business/1945

разом. Существующий набор данных случайным образом, например с помощью испытания Бернулли с параметром 0.7, делится на две части: большая (Selected Cases в табл. 3) используется для повторного построения модели, а меньшая (Unselected Cases) – для проверки модели. Если результаты не будут противоречивы, то считается, что модель адекватна. Для данного примера результаты могут быть получены с помощью процедуры логистической регрессии и введения переменной случайного выбора. Результаты представлены в табл. 3 (классификационная таблица для проверки адекватности).

Таблица 3

Observed		Predicted					
		Selected Cases			Unselected Cases		
		грпСрв1		Percentage Correct	грпСрв1		Percentage Correct
		ИБС	ИБС_кнтр		ИБС_кнтр	ИБС	
грпСрв1	ИБС	22	6	78.6	8	1	88.9
	ИБС_кнтр	3	24	88.9	1	5	83.3
Overall Percentage				83.6			86.7

Из табл. 3 видно, что параметры для вариантов построения модели и проверки ее адекватности весьма близки и не требуют дополнительного статистического анализа, следовательно, построенная модель может использоваться не только на этом, но и на других подобных наборах данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бююль А., Цёфель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. СПб.: ООО «ДиасофтЮП», 2005.
2. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976.
3. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляций. Т. 1. Теория обнаружения, оценок и линейной модуляции / Пер. с англ.; Под ред. В. И. Тихонова. М.: Сов. радио, 1972.

O. A. Markelov, B. I. Smirnov

ALGORITHM OF LOGISTIC REGRESSION MODELS FOR A SMALL AMOUNT OF DATA. Part 1.

Article focuses on a logistic regression based biomedical data, taking into account issues of data integrity and adequacy of the model obtained using the exploratory data analysis.

Scale types, logistic regression, exploratory data analysis, contrast of categorical variables, missing data, pseudo R-squared.

УДК 621.762.24+669.243.73

И. В. Шевцов

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ГАЗА В ГАЗОПРОВОДЕ С УЧЕТОМ ВОЛНОВЫХ ЯВЛЕНИЙ

Описывается нелинейная имитационная модель движения газа в газопроводе с учетом сил инерции. Установлен шаг квантования по пространственной координате и период дискретизации сигналов.

Волновой процесс, регенерация рукавного фильтра, гидравлический четырехполюсник

Дальнейший прогресс в электромобильной промышленности во многом определяется увеличением электрической емкости никельсодержащих аккумуляторов, технические показатели которых зависят от свойств карбонильного никелевого порошка. Сущность технологическо-

го процесса (ТП) производства никелевого порошка заключается в протекании физико-химических процессов в среде оксида углерода. Аэродинамический режим движения газа в подсистемах ТП существенно влияет на физико-технологические показатели порошка [1]. Отдельные подсистемы могут вносить существенные возмущения, генерируя различного рода волновые процессы в газовой среде. В частности, в подсистеме очистки оксида углерода – неотъемлемой части ТП – таким источником возмущений является рукавный фильтр, периодически подвергаемый процессу механического встряхивания.

Для изучения волновых явлений в подсистеме очистки оксида углерода с целью снижения их влияния на отдельные стадии и технологический процесс в целом необходимо разработать и исследовать модель процессов в газопроводе. Аэродинамические процессы в газопроводе описываются системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, решение которой возможно лишь в отдельных случаях [2]. С другой стороны, в существующей системе управления результаты наблюдений за изменением давления в газопроводе фиксируются с интервалом дискретности $\Delta t_S = 60$ с, что явно недостаточно для применения теории статистической идентификации.

Целью исследования являлась разработка нелинейной имитационной модели подсистемы очистки оксида углерода с учетом волновых процессов в движущейся среде газопровода и проведение экспериментов с моделью. В качестве рабочей гипотезы были приняты допущения о возможности пренебрежения скоростным и геодезическими напорами газа. Реологические свойства пылегазовой смеси учтены в качестве поправки к численному значению плотности газа.

Задачи. Найти аналитическое решение линеаризованной системы уравнений волновых процессов в подсистеме очистки. Используя дифференциально-разностную аппроксимацию, разработать модель в пространстве состояний. С помощью полученных моделей определить достаточно малый шаг квантования пространственной координаты газопровода по критерию близости частотных характеристик. С учетом найденного шага квантования разработать нелинейную имитационную модель подсистемы очистки, выполнить верификацию модели на контрольном участке и произвести эксперимент с моделью.

Модель газопровода. Подсистема очистки оксида углерода (рис. 1) состоит из двух пылевых камер (ПК1 и ПК2), соединенных газопроводом (ГП). Оксид углерода, содержащий никелевую пыль, из реактора разложения паров карбонила никеля поступает в ПК1, затем по газопроводу в ПК2 и далее направляется в рукавный фильтр (на рисунке не показан).

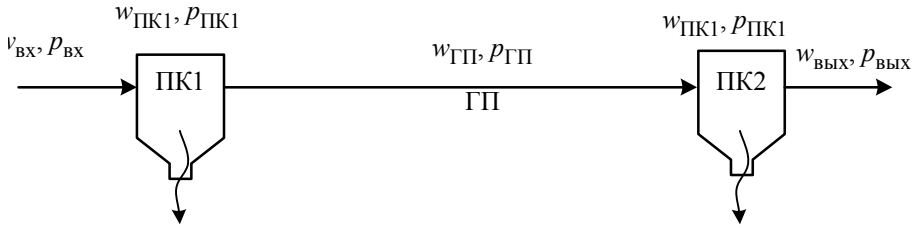


Рис. 1

Исходное математическое описание подсистемы очистки составляют следующие дифференциальные уравнения:

$$-\frac{\partial}{\partial x} p_{ГП}(x,t) = \rho_{ср} \frac{\partial}{\partial t} w_{ГП}(x,t) + M_{ГП} w_{ГП}^2(x,t), \qquad (1)$$

$$-\frac{\partial}{\partial t}p_{\text{ГП}}(x,t)=\rho_{\text{ср}}c^2\frac{\partial}{\partial x}w_{\text{ГП}}(x,t),\quad 0\le x\le L_{\text{ГП}},\tag{2}$$

$$\frac{d}{dt}p_{\text{ПК1}}(t)=-\frac{c^2\rho_{\text{ср}}}{L_{\text{ПК1}}}\left[w_{\text{вх}}(t)-w_{\text{ПК1}}(t)\right],\tag{3}$$

$$\frac{d}{dt}w_{\text{ПК1}}(t)=-\frac{1}{\rho_{\text{ср}}L_{\text{ПК1}}}\left[\left(p_{\text{вх}}(t)-p_{\text{ПК1}}(t)\right)-M_{\text{ПК1}}w_{\text{ПК1}}^2(t)\right],\tag{4}$$

$$\frac{d}{dt}p_{\text{ПК2}}(t)=-\frac{c^2\rho_{\text{ср}}}{L_{\text{ПК2}}}\left[w_{\text{ПК2}}(t)-w_{\text{вых}}(t)\right],\tag{5}$$

$$\frac{d}{dt}w_{\text{ПК2}}(t)=-\frac{1}{\rho_{\text{ср}}L_{\text{ПК2}}}\left[\left(p_{\text{ПК2}}(t)-p_{\text{вых}}(t)\right)-M_{\text{ПК2}}w_{\text{ПК2}}^2(t)\right],\quad t\ge 0,\tag{6}$$

где p, w – давление и скорость движения оксида углерода, Па, м/с; $\rho_{\text{ср}}=1,25$ кг/м^3 – средняя плотность газа; $c=336$ м/с – скорость распространения звука в газе; $L_{\text{ГП}}=200$ м – длина газопровода; $L_{\text{ПК1}}=1,0$ м, $L_{\text{ПК2}}=1,2$ м – длины пылевых камер ПК1 и ПК2 соответственно; $M_{\text{ГП}}=450$ кг/м^4 – коэффициент аэродинамической характеристики газопровода, отнесенный к единице длины; $M_{\text{ПК1}}=5,2\cdot 10^4$ кг/м^3, $M_{\text{ПК2}}=8,3\cdot 10^3$ кг/м^3 – коэффициенты аэродинамической характеристики пылевых камер.

Здесь уравнения (1), (2) описывают неустановившееся движение оксида углерода в газопроводе с учетом сил инерции и потерь на трение [3]. Уравнения (3), (4) и (5), (6) моделируют пневмоемкость постоянного объема [4].

Значения коэффициентов аэродинамических характеристик ПК1, ПК2 и ГП определены путем статистической обработки экспериментальных данных. Рис. 2 иллюстрирует построение аппроксимирующей кривой $\Delta p_{\text{ГП}}=f\left(w_{\text{ГП}}\right)$ аэродинамической характеристики ГП.

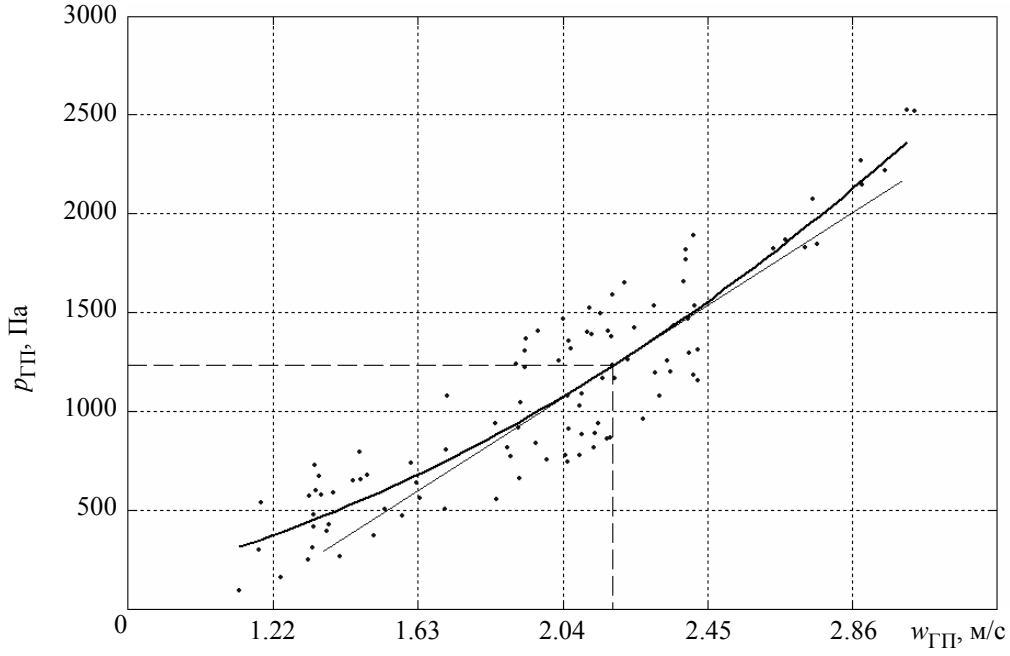


Рис. 2

Выполнив линеаризацию по методу касательной к рабочей точке (рис. 2) и переходя к изображениям по Лапласу при нулевых начальных условиях, представим систему уравнений (1), (2) в виде гидравлического четырехполюсника [3]

$$\frac{dP_{\text{ГП}}(x,s)}{dx}+\rho_{\text{ср}}\left(s+2M_{\text{ГП}}w_{\text{ГП}}^{0}\right)V_{\text{ГП}}(x,s)=0,\ \frac{dV_{\text{ГП}}(x,s)}{dx}+\frac{s}{\rho_{\text{ср}}c^{2}}P_{\text{ГП}}(x,s)=0. \qquad (7)$$

Уравнения (3)–(6) приобретают вид дополнительных условий:

$$\left.\begin{aligned}&\alpha_1(s)P_{\text{ГП}}(0,s)+\alpha_2(s)V_{\text{ГП}}(0,s)=P_{\text{вх}}(s),\\&\beta_3(s)P_{\text{ГП}}(L_{\text{ГП}},s)+\beta_4(s)V_{\text{ГП}}(L_{\text{ГП}},s)=P_{\text{вых}}(s)\end{aligned}\right\}, \qquad (8)$$

где $\alpha_1(s)=\beta_3(s)=1$, $\alpha_2(s)=2M_{\text{ПК1}}w_{\text{ПК1}}^{0}+\rho_{\text{ср}}L_{\text{ПК1}}s$, $\beta_4(s)=-2M_{\text{ПК2}}w_{\text{ПК2}}^{0}-\rho_{\text{ср}}L_{\text{ПК2}}s$.

Решением системы (7) относительно давления в произвольной точке газопровода с координатой x при дополнительных условиях (8) является следующее выражение:

$$P(x,s)=\frac{\Delta_1(s)}{\Delta(s)}\text{ch}\left[\Lambda(s)x\right]-\frac{\Delta_3(s)}{\Delta(s)}Z(s)\text{sh}\left[\Lambda(s)x\right], \qquad (9)$$

где $\Delta(s)=\begin{vmatrix}\text{ch}\left[\Lambda(s)L_{\text{ГП}}\right] & -1 & -Z(s)\text{sh}\left[\Lambda(s)L_{\text{ГП}}\right] & 0\\ -\dfrac{\text{sh}\left[\Lambda(s)L_{\text{ГП}}\right]}{Z(s)} & 0 & \text{ch}\left[\Lambda(s)L_{\text{ГП}}\right] & -1\\ \alpha_1(s) & 0 & \alpha_2(s) & 0\\ 0 & \beta_3(s) & 0 & \beta_4(s)\end{vmatrix}$,

$$\Delta_1(s)=\begin{vmatrix}0 & -1 & -Z(s)\text{sh}\left[\Lambda(s)L_{\text{ГП}}\right] & 0\\ 0 & 0 & \text{ch}\left[\Lambda(s)L_{\text{ГП}}\right] & -1\\ P_{\text{вх}}(s) & 0 & \alpha_2(s) & 0\\ P_{\text{вых}}(s) & \beta_3(s) & 0 & \beta_4(s)\end{vmatrix},$$

$$\Delta_3(s)=\begin{vmatrix}\text{ch}\left[\Lambda(s)L_{\text{ГП}}\right] & -1 & 0 & 0\\ -\dfrac{\text{sh}\left[\Lambda(s)L_{\text{ГП}}\right]}{Z(s)} & 0 & 0 & -1\\ \alpha_1(s) & 0 & P_{\text{вх}}(s) & 0\\ 0 & \beta_3(s) & P_{\text{вых}}(s) & \beta_4(s)\end{vmatrix},$$

$\Lambda(s)=\dfrac{s}{c}\sqrt{1+\dfrac{2M_{\text{ГП}}w_{\text{ГП}}^{0}}{s}}$, $Z(s)=\rho_{\text{ср}}c\sqrt{1+\dfrac{2M_{\text{ГП}}w_{\text{ГП}}^{0}}{s}}$.

Подставляя в уравнение (9) значение $x=0$, окончательно получим передаточную функцию по каналу давление на выходе из ПК2 – давление на входе в ПК1:

$$W(s)=\frac{P(0,s)}{P_{\text{вых}}(s)}=$$
$$=\frac{M_{\text{ПК1}}Z(s)}{Z(s)\left(\alpha_2(s)-\beta_4(s)\right)\text{ch}\left[\Lambda(s)L_{\text{ГП}}\right]-\left(\alpha_2(s)\beta_4(s)+Z^{2}(s)\right)\text{sh}\left[\Lambda(s)L_{\text{ГП}}\right]}. \qquad (10)$$

Дифференциально-разностная аппроксимация подсистемы очистки на участке от ПК1 до ПК2, соответствующая уравнениям (1)–(6), представлена следующей системой уравнений [5]:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{d}{dt}w_{\text{ПК1}}=\frac{1}{\rho_{\text{ср}}L_{\text{ПК1}}}\left[p_{\text{ПК1}}-p(1)\right]-\frac{M_{\text{ПК1}}}{\rho_{\text{ср}}L_{\text{ПК1}}}w_{\text{ПК1}},\quad \frac{d}{dt}p_{\text{ПК1}}=\frac{\rho_{\text{ср}}c^2}{L_{\text{ПК1}}}\left[w_{\text{вх}}-w_{\text{ПК1}}\right],\\
&\frac{dp(i)}{dt}=\frac{\rho_{\text{ср}}c^2}{\Delta L_{\text{ГП}}}\left[w(i-1)-w(i)\right],\quad \frac{dw(i)}{dt}=\frac{1}{\rho_{\text{ср}}\Delta L_{\text{ГП}}}\left[p(i)-p(i+1)\right]-2aw(i),\\
&\frac{d}{dt}w_{\text{ПК2}}=\frac{1}{\rho_{\text{ср}}L_{\text{ПК2}}}\left[p_{\text{ПК2}}-p_{\text{вых}}\right]-\frac{M_{\text{ПК2}}}{\rho_{\text{ср}}L_{\text{ПК2}}}w_{\text{ПК2}},\quad \frac{d}{dt}p_{\text{ПК2}}=\frac{\rho_{\text{ср}}c^2}{L_{\text{ПК2}}}\left[w(N)-w_{\text{ПК2}}\right],\\
&i=\overline{2,\,N},\ p(N+1)=p_{\text{ПК2}}
\end{aligned}\right\}\quad(11)$$

где N – количество участков ГП; $\Delta L_{\text{ГП}}=\dfrac{L_{\text{ГП}}}{N}$ – шаг квантования, м.

Оценка близости получена сравнением частотных характеристик модели (10) и аппроксимации (11) при различных значениях N. На рис. 3 представлены ЛАЧХ, построенные по модели (10), а также для аппроксимации (11) при $N = 20, 40$. Из рисунка следует, что при достижении $N = 40$ частотный диапазон адекватности модели (11) составил $\Omega_\omega < 30$ рад/с. При этом первая резонансная частота $\omega_{\text{рез}} = 2{,}6$ рад/с. Таким образом, для построения дискретного аналога газопровода его достаточно разбить на участки длиной $\Delta L_{\text{ГП}} = 5$ м.

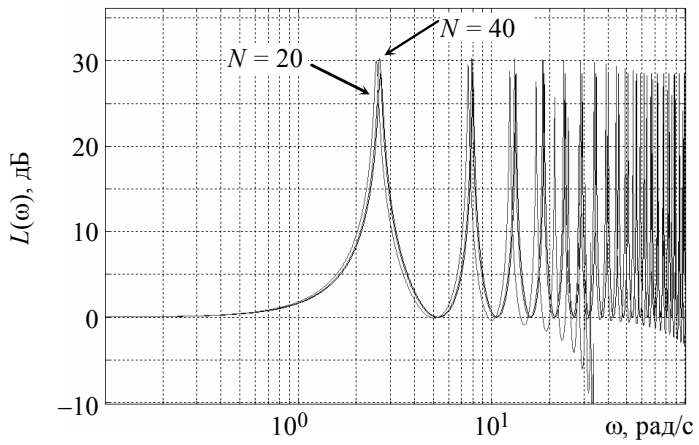


Рис. 3

Имитационная модель. Следующим шагом явилось построение нелинейной имитационной модели подсистемы очистки, выполненное в среде MATLAB/Simulink. Структурная схема подсистемы очистки изображена на рис. 4.

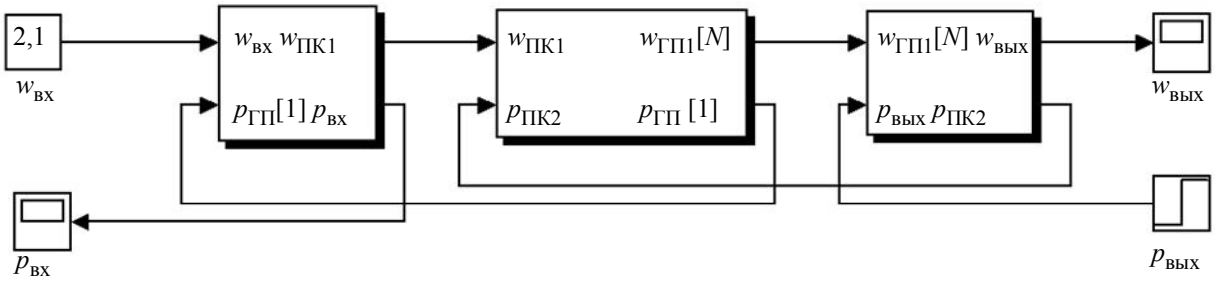


Рис. 4

На рис. 5 представлена модель, имитирующая участок газопровода длиной 5 м. Здесь коэффициенты имитационной модели $a_1 = \dfrac{\rho_{ср} c^2}{\Delta L_{ГП}}$, $a_2 = \dfrac{1}{\rho_{ср} \Delta L_{ГП}}$, $a_3 = M_{ГП}$.

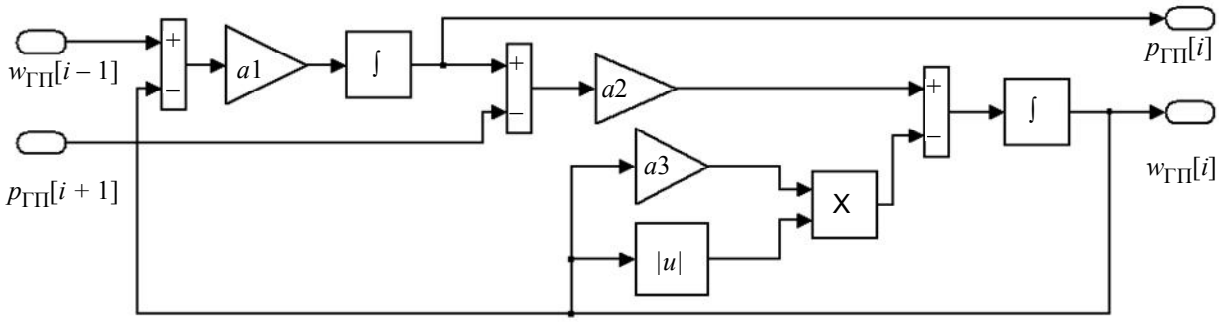


Рис. 5

Верификация имитационной модели произведена сравнением поведения модели и объекта на контрольном участке (рис. 6), на котором фильтровальный материал подвергался регенерации 2 раза. Степень близости модели составила 64 %.

Для исследования неустановившегося движения газа в подсистеме очистки на основе полученной имитационной модели давление на выходе пылевой камеры ПК2 изменялось ступенчато. При этом изменение давления на входе в подсистему очистки приобрело колебательный характер (рис. 7), время установления $t_{ss} = 78$ с. Частота осцилляций давления на входе в подсистему очистки $\omega_{осц} = \dfrac{2\pi}{t_2 - t_1} = 2,6$ рад/с, что соответствует первой резонансной частоте $\omega_{рез}$, определенной с помощью ЛАЧХ (рис. 3).

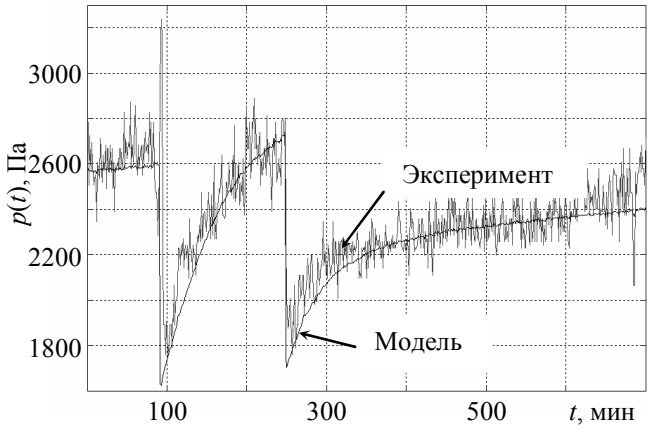


Рис. 6

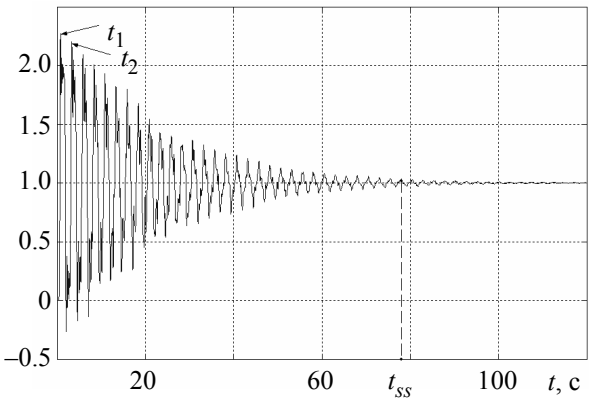


Рис. 7

Таким образом, моделирование волновых процессов в подсистеме очистки как системе с распределенными параметрами возможно путем представления газопровода в виде последовательных участков длиной 5 м, описываемых уравнениями с сосредоточенными параметрами. Для регистрации переходных процессов в газопроводе следует принять период дискретизации $\Delta t_s < \dfrac{\pi}{\omega_{рез}} = 1,21$ с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Имаев Д. Х., Шевцов И. В. Концептуальная модель АСУ ТП разложения паров тетракарбонила никеля. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008. Т. 2. С. 127–131.

2. Мышкис А. Д. Элементы теории математических моделей. М.: Комкнига, 2007.

3. Чарный И. А. Неустановившиеся движения реальной жидкости в трубах. М.: Недра, 1975.

4. Бутковский А. Г. Методы управления системами с распределенными параметрами. М.: Наука, 1975.

5. Рапопорт Э. Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами. М.: Высш. шк., 2003.

I. V. Shevtsov

BUILDING OF MODEL OF GAS FLOW WITHIN GASLINE TAKING INTO ACCOUNT WAVE MOTION

Nonlinear simulation model of gas flow within gasline taking into account inertia is developed. The quantization step and sampling period are estimated.

Wave process, nickel powder, hydraulic quadripole

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ

УДК 004.94, 004.85

Ю. В. Романенко

ПОСТРОЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПОДГОТОВКИ И АТТЕСТАЦИИ ОПЕРАТОРОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Описывается подход к созданию на основе унифицированной программной платформы автоматизированных систем для обучения, тренажа, проверки знаний, квалификации и практических навыков работы операторов сложных технических комплексов.

Компьютерные обучающие системы, интерактивные обучающие комплексы, программные тренажеры, надежность оператора

Современные технические комплексы представляют собой сложные системы, эксплуатацию и управление которыми осуществляют операторы. В сегодняшних экономических условиях, когда даже мелкий ремонт сложного технологического оборудования грозит превратиться в неразрешимую проблему, цена ошибок оперативного персонала многократно возрастает. Особую важность приобретают качественная учебная подготовка и проверка готовности персонала, его противоаварийные тренировки. Для проверки готовности эксплуатирующего персонала проводятся аттестации, в ходе которых оцениваются уровень теоретической подготовки, квалификация и практические навыки работы каждого оператора. В настоящее время остро стоит вопрос о создании адекватной системы комплексной подготовки и аттестации операторов, способной быстро реагировать на изменяющиеся требования, состав и условия эксплуатации сложных систем, устройств, механизмов.

В последние годы для проведения обучения и проверки знаний эксплуатирующего персонала в различных областях науки и техники широкое распространение получили компьютерные обучающие системы (КОС). КОС представляют собой аппаратно-программные комплексы, которые легко перенастраиваются при модернизации оборудования, позволяют построить обучение на основе проблемно-ситуационного подхода, реализовать активные методики подготовки. КОС дают возможность реализовать практически любые по сложности эксперименты с оборудованием и воспроизвести методики отработки любых штатных и не-

штатных ситуаций, не используя реальные устройства и агрегаты. Современные КОС по назначению и функциональным возможностям условно разделяются на следующие группы:

• *компьютерные учебные пособия* – программно-методические комплексы, обеспечивающие возможность самостоятельно освоить учебный курс, соединяющие в себе свойства обычного учебника, справочника, задачника. Обычно компьютерные учебные пособия выполняются в виде электронных презентаций, учебных фильмов и т. д.;

• *интерактивные обучающие комплексы* – пакеты программ, обеспечивающие возможность оператору самостоятельно изучить учебный материал в интерактивном режиме и провести самопроверку;

• *тренажеры* – аппаратно-программные комплексы, реализующие формализованную модель изменения состояния систем управления техническими комплексами в зависимости от действий операторов и задаваемых внешних факторов. Обучаемый взаимодействует с виртуальными устройствами, внешний вид и технология работы с которыми повторяют реальное оборудование. Такие тренажеры можно использовать для индивидуального и группового обучения, моделирования штатных технологических процессов и нештатных ситуаций, отработки и закрепления практических навыков по работе с оборудованием. Они обеспечивают возможность обучения и тренировки на различных уровнях самостоятельности и контроль действий операторов.

Актуальной представляется задача создания с использованием передовых компьютерных и мультимедиа-технологий программной платформы и методики разработки на ее основе автоматизированных систем комплексной подготовки и аттестации (АСКПА) эксплуатирующего персонала технических комплексов. Платформа должна представлять собой системное решение с библиотекой взаимосвязанных компонентов («ядро» системы комплексной подготовки и аттестации), реализующих основные функции АСКПА и расширяемых элементами, настраиваемыми под конкретную предметную область. В состав платформы также должны входить инструментальные средства (редакторы), позволяющие создавать учебный контент, текстово-графические и мультимедиа-ресурсы, используемые при подготовке и аттестации операторов.

АСКПА предназначены для решения следующих задач:

• теоретическая подготовка и изучение эксплуатирующим персоналом основ технологических процессов; структуры, состава и принципов работы оборудования;

• изучение устройства, порядка работы, процессов управления и регулирования режимов работы технологического оборудования и технических систем с использованием наглядного демонстрационного материала;

• выработка навыков практического выполнения операций подготовки, применения по назначению и обслуживания технических комплексов в штатных режимах и при возникновении нештатных ситуаций;

• проведение индивидуального и комплексного тренажа эксплуатирующего персонала в штатных и нештатных технологических процессах, в различных условиях и с учетом внешних факторов;

• выработка приемов и навыков самостоятельной работы и самообучения;

• проверка знаний теоретического материала, контроль и оценивание качества привития практических навыков, оценка надежности операторов с учетом статистики ошибок, допущенных при работе на реальном оборудовании, и результатов аттестации.

Основные принципы разработки платформы для создания АСКПА.

1. *Системность.* Все компоненты АСКПА должны быть взаимосвязаны и согласованы в соответствии с единым общесистемным замыслом. Разработка программного обеспечения ведется комплексно с использованием единых методических и технологических подходов, моделей и программных интерфейсов обмена и представления информации. АСКПА должна представлять собой единую распределенную информационную среду.

2. *Модульность*. Конечная АСКПА должна представлять собой совокупность повторно используемых и вновь разрабатываемых программных компонентов. В конкретной АСКПА в зависимости от ее функционального назначения и области применения могут использоваться все или часть компонентов, предоставляемых платформой.

3. *Расширяемость*. Архитектура и технология реализации платформы для создания АСКПА должны обеспечивать возможность ее расширения и наращивания новыми функциональными модулями без изменения ранее созданных и отлаженных компонентов. Необходимость расширения может быть связана, например, с появлением новых технологических возможностей представления текстово-графической информации, требующих использования дополнительных программных средств.

4. *Открытость.* АСКПА должна допускать возможность информационного взаимодействия со смежными и внешними системами и комплексами на основе согласованных форматов и интерфейсов обмена данными.

5. *Масштабируемость.* Возможность наращивания объема хранимого и предоставляемого учебного контента, увеличения количества обучаемых за счет тиражирования унифицированных решений, ввода в систему типовых программных комплексов, обеспечения многопользовательского режима работы.

6. *Переносимость.* Платформа должна обеспечивать возможность создания конечной АСКПА для функционирования в различных целевых общесистемных средах, включающих операционные системы, системы управления базами данных, системы защиты информации и т. д.

Аппаратно-программная структура включает в себя информационное хранилище учебного контента, сервер обучения, автоматизированные рабочие места (АРМ) руководителя обучения, обучаемых и разработчиков учебного контента, объединенные в единую вычислительную сеть.

Информационное хранилище предназначено для хранения структурированных данных, необходимых для организации, управления и контроля обучения, а также неструктурированных файловых ресурсов учебного контента. В единой для всех программных комплексов базе данных АСКПА хранятся сведения об обучаемых, информация об учебных курсах, видах и программах занятий, результаты обучения и аттестации.

Сервер обучения является центральным звеном АСКПА и обеспечивает синхронизацию и управление работой всех программных комплексов, входящих в состав АСКПА. На АРМ АСКПА устанавливаются клиентские части специального программного обеспечения, которые

предоставляют интерфейс для работы различных групп пользователей и, взаимодействуя с серверными компонентами, обеспечивают решение функциональных задач.

Специальное программное обеспечение АСКПА включает программные комплексы двух типов: интерактивные обучающие комплексы и программные тренажеры. Интерактивный обучающий комплекс представляет собой программную среду, предназначенную для организации и проведения индивидуальной теоретической подготовки и самопроверки обучаемых. Компоненты «ядра» серверного и клиентского приложений интерактивного обучающего комплекса обеспечивают выполнение функций создания и управления группами обучаемых, формирования программ обучения и назначения курсов для обучаемых, отображения учебного материала, подготовки вопросников и тестовых заданий, накопления и просмотра статистики обучения и проверки знаний. В интерактивных обучающих комплексах учебный контент представляет собой набор курсов, содержащих текстово-графическую информацию.

Содержание учебных курсов отображается в виде гипертекста с возможностью перехода по ссылкам от одного раздела к другому. Наглядность представления графического материала и удобство работы оператора с ним достигаются за счет использования современных мультимедиа технологий, включая видеоизображения, интерактивные двухмерные и трехмерные модели с возможностью изменения параметров отображения и обзора модели, анимационные ролики. Обучаемому предоставляется несколько вариантов навигации по учебному курсу: полное дерево разделов, перечень ключевых слов, произвольный поиск по тексту, переход из одного раздела в другой.

Используемый подход к разработке программного тренажера заключается в повторном использовании набора компонентов («ядра» тренажера), который дополняется функциональными элементами, описывающими специфику конкретного тренажера. «Ядро» тренажера реализует все базовые функции, не зависящие от конкретной предметной области: отображение виртуальных устройств и функциональное моделирование; контроль и протоколирование действий обучаемых; синхронизация работы АРМ руководителя и обучаемых; накопление, хранение и обработка статистики обучения и аттестации. Функциональные элементы разрабатываются для каждого конкретного тренажера, описывают особенности предметной области и разделяются на два типа: декларативные и алгоритмические описания. Функциональные элементы разрабатываются в соответствии с унифицированными форматами и подключаются к «ядру» тренажера на этапе выполнения по стандартизованным интерфейсам. Такой подход позволяет существенно сократить время создания каждого конкретного тренажера, направив основные усилия при этом на изучение и реализацию специфики моделируемой технической системы, а не на разработку общесистемной части тренажера. При этом основным разработчиком тренажера становится не программист, а специалист-технолог, являющийся экспертом в предметной области. Модификация программного тренажера, построенного на основе «ядра», заключается в изменении функциональных элементов и может быть выполнена оперативно при изменении требований к тренажеру. Подробно архитектура и методика разработки программных тренажеров описаны в [1], [2].

Разработанная в ОАО «НИЦ СПб ЭТУ» платформа АСКПА включает в себя также инструментальные средства для подготовки учебного материала для интерактивных обучающих комплексов, проектирования и реализации функциональных элементов программных тренаже-

ров. Компоненты платформы и инструментальных средств разработаны на языке Java, что обеспечивает переносимость программных комплексов под различные операционные системы и системы управления базами данных. Опыт показывает, что использование описанного подхода в разработке АСКПА позволяет сократить время и трудоемкость разработки КОС в несколько раз, сосредоточив при этом основные усилия на создании качественного учебного контента. Повышается надежность работы обучающих комплексов за счет повторного использования ранее разработанных и отлаженных компонентов платформы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романенко Ю. В. Архитектура компьютерного тренажера для обучения и аттестации операторов при управлении технологическими процессами и возникновении нештатных ситуаций // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Информатика, управление и компьютерные технологии. 2007. Вып. 2. С. 70–80.

2. Разумовский Г. В., Романенко Ю. В. Технология разработки компьютерных тренажеров для подготовки и аттестации операторов систем управления // Тр. науч.-техн. конф. ФГУП «РНИИ КП» «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий», посвященной 50-летию запуска Первого искусственного спутника Земли. М., 19–21 июня 2007. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. С. 210–219.

Y. V. Romanenko

THE DEVELOPMENT OF COMPUTER-BASE SYSTEMS FOR COMPLEX LEARNING, TRAINING AND ATTESTATION OF TECHNICAL SYSTEMS OPERATORS

The software platform architecture for design and development of computer-based systems for learning, training and evaluation of technical system operators are described in the article.

Computer learning systems, interactive E-learning systems, computer-based simulator, operator reliability

УДК 681.5.01

Ю. В. Романенко, А. В. Экало

МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОПЕРАТОРА В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК – МАШИНА»

Описывается модель комплексного оценивания надежности оператора технического комплекса при выполнении им отдельных операций технологического процесса, предлагается модель оценки надежности оператора на основе показателей своевременности и безошибочности работы.

Надежность оператора, аттестация, технологический процесс

Качество функционирования современных систем «человек – машина» определяется работоспособностью технических средств и правильной (безошибочной) работой операторов. При этом надежность оператора является определяющим условием надежности функционирования системы в целом. Исследования показывают, что при однократном резервировании технических устройств квалифицированным оператором, надежность системы оказывается выше, чем при использовании четырехкратного технического резервирования. С другой стороны, отсутствие у оператора должной подготовки может свести к нулю даже самый высокий уровень надежности технических устройств. В целях предупреждения аварий и нештатных ситуаций вследствие неверных действий человека актуальной является задача объективной оценки текущего состояния и прогнозирования готовности операторов к решению поставленных задач на основе математической модели оценивания надежности выполнения ими операций технологического процесса.

Одним из важнейших показателей готовности оператора боевого расчета, представляющих интерес для практического применения, является надежность выполнения им операций технологического процесса. В данном случае термин «надежность оператора» используется аналогично понятию «надежность аппаратуры», которая характеризуется ошибками и отказами в работе технических средств. ГОСТ 27.002-89 определяет надежность как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять требуемые функции. Необходимо помнить, что «отказы оператора» как результат проявления ошибок в его действиях имеют другую физическую природу, чем отказы техники. Однако это не может служить причиной невозможности использования терминов и общепринятых подходов к оцениванию надежности при исследовании качества работы оператора.

Жизненный цикл оператора представляет собой чередование реальных технологических процессов, в которых принимает участие оператор, и периодов ожидания. Результаты работы оператора в реальном технологическом процессе являются основным показателем для оценки его надежности и характеризуют опыт, приобретенный оператором при практической работе.

Если период ожидания существенен (может продолжаться несколько месяцев), то, учитывая физиологические особенности человека, происходит потеря навыков работы и квалификации. Для подтверждения надежности оператора в период ожидания необходимо проводить проверку качества его работы, т. е. аттестацию. Главной целью аттестации является подтверждение показателей надежности работы оператора, которые рассчитаны на основании статистики его работы в реальных процессах. Если в процессе аттестации оператор не допускает ошибок, то тем самым он подтверждает свой опыт, полученный в реальных процессах, и то, что его надежность не снизилась в период ожидания. Если в процессе аттестации проявляются ошибки в работе оператора, это означает, что в период ожидания произошли снижение его надежности и потеря навыков работы.

В настоящее время отсутствует единый концептуальный подход к исследованию вопросов оценки надежности операторов. Отдельные исследовательские работы носят теоретический характер и не имеют широкого практического применения [1]–[3]. В них рассматриваются в основном вопросы оценки надежности операторов по результатам обучения, но не учитывается влияние на надежность фактора времени (периода ожидания) между работами. В данной статье описывается модель комплексного оценивания и прогнозирования надежности выполнения оператором операции технологического процесса, учитывающая результаты его работы в реальных условиях и результаты аттестации в период ожидания.

Вычисление комплексной оценки надежности выполнения оператором операции технологического процесса предлагается выполнять следующим образом:

$$R(O) = \alpha R_{\text{практ}}(O) + (1-\alpha) R_{\text{атт}}(O),$$

где $R_{\text{практ}}(O)$ – оценка надежности выполнения оператором операции O своим технологического процесса, рассчитанная на основании результатов работы в реальных условиях; $R_{\text{атт}}(O)$ – оценка надежности выполнения оператором операции O технологического про-

цесса, рассчитанная на основании результатов аттестации; коэффициент α позволяет определить вес составляющей надежности оператора, полученной по результатам реальных работ, относительно составляющей, полученной по результатам аттестации.

Расчет оценки надежности выполнения оператором операции технологического процесса по результатам его работы в реальных процессах (результатам аттестации) выполняется следующим образом.

Представим надежность оператора вектором $\mathbf{d}$ в n-мерном пространстве D с базисом $(\mathbf{d}_1, ..., \mathbf{d}_n)$. В этом случае надежность оператора будет представлять собой вектор

$$\mathbf{d} = a_1\mathbf{d}_1 + ... + a_n\mathbf{d}_n,$$

где $a_1, ..., a_n$ – координаты вектора $\mathbf{d}$ в пространстве D.

Интерпретация значений координат заключается в том, что они определяют численные значения параметров, которыми характеризуется надежность работы оператора. Примерами таких параметров являются: своевременность, безошибочность выполнения операции технологического процесса, опыт оператора, моральная устойчивость и т. д.

В качестве числовой меры надежности выполнения оператором операции технологического процесса примем нормированную длину вектора $\mathbf{d}$, которая будет вычисляться по следующим формулам:

$$R_{\text{практ}}(\text{O}) = \left|\mathbf{d}_{\text{практ}}\right| = \frac{\sqrt{a_1^2 + ... + a_n^2}}{\sqrt{n}}; \quad (1)$$

$$R_{\text{атт}}(\text{O}) = \left|\mathbf{d}_{\text{атт}}\right| = \frac{\sqrt{a_1^2 + ... + a_n^2}}{\sqrt{n}}. \quad (2)$$

В формулах (1), (2) параметры, которые включаются в модель оценки надежности оператора, должны быть независимыми, равнозначными и иметь нормированную шкалу измерения в диапазоне [0, 1]. В этом случае значения $R_{\text{практ}}(\text{O})$ и $R_{\text{атт}}(\text{O})$ так же будут находиться в диапазоне [0, 1].

Представление надежности оператора в виде вектора в n-мерном пространстве позволяет:

- разложить обобщенную характеристику надежности оператора на составляющие и оценить состояние оператора по каждой из них в отдельности;
- оценить изменение надежности оператора в целом и каждой составляющей в отдельности вследствие приобретения опыта практической работы или после обучения;
- сравнить нескольких операторов, которые имеют одинаковую надежность выполнения одной и той же операции, но при этом могут существенно различаться по составляющим параметрам.

Для визуального изображения надежности оператора может использоваться двухмерное графическое преставление, которое будем называть линией надежности оператора. Если линия надежности является горизонтальным отрезком, располагающимся на уровне максимального значения координат вектора $\mathbf{d}$, то оператор является «идеальным» или «абсолютно

надежным». Это означает, что оператор полностью соответствует всем требованиям, предъявляемым к нему по всем составляющим. Обычно линия надежности оператора представляет собой ломаную линию. Графическое представление позволяет наглядно отобразить надежность оператора по каждой составляющей, оценить положение конкретного человека относительно «идеального» оператора, а также сравнить двух и более операторов в целом и по каждой составляющей надежности в отдельности.

В некоторых случаях для оценки надежности оператора необходимо повысить вес отдельного параметра в оценке по сравнению с другими параметрами. Например, для особо опасных операций или операций, связанных со сборкой различных схем оборудования, основное значение приобретает фактор корректности (безошибочности) их выполнения, тогда как фактор времени выполнения операций становится не определяющим. С другой стороны, для операций, выполняемых в ограниченных рамках технологического процесса, особенно находящихся на критическом пути сетевого графика, наиболее важным становится их своевременное выполнение, так как даже безошибочное выполнение вне установленных временных рамок может привести к срыву работ в целом. Для учета перечисленных особенностей при расчете числового значения надежности выполнения оператором операции технологического процесса предлагается использовать усовершенствованную формулу расчета с весовыми коэффициентами:

$$R_{\text{практ}}(O) = \frac{\sqrt{\beta_1^2 a_1^2 + \ldots + \beta_n^2 a_n^2}}{\sqrt{\beta_1^2 + \ldots + \beta_n^2}}; \qquad (3)$$

$$R_{\text{атт}}(O) = \frac{\sqrt{\beta_1^2 a_1^2 + \ldots + \beta_n^2 a_n^2}}{\sqrt{\beta_1^2 + \ldots + \beta_n^2}}, \qquad (4)$$

где β_1, …, β_n – коэффициенты значимости параметров надежности.

Коэффициенты значимости определяются экспертным путем для каждой операции технологического процесса, исходя из условия $\beta_1 + \ldots + \beta_n = 1$.

Рассмотрим для примера модель оценки надежности оператора, построенную на основе двух параметров: безошибочности и своевременности выполнения операции. В этом случае формулы (3), (4) могут быть представлены в следующем виде:

$$R_{\text{практ}}(O) = \frac{\sqrt{\beta_1^2 W_{\text{практ}}^2(O,\tau) + \beta_2^2 C_{\text{практ}}^2(O)}}{\sqrt{\beta_1^2 + \beta_2^2}};$$

$$R_{\text{атт}}(O) = \frac{\sqrt{\beta_1^2 W_{\text{атт}}^2(O,\tau) + \beta_2^2 C_{\text{атт}}^2(O)}}{\sqrt{\beta_1^2 + \beta_2^2}},$$

где $W_{\text{практ}}(O, \tau)$, $W_{\text{атт}}(O, \tau)$ – значения показателя $W(O, \tau)$ своевременности выполнения оператором операции O за время τ, рассчитанные на основе статистики оператора в реальных процессах и по результатам аттестации соответственно; $C_{\text{практ}}(O)$, $C_{\text{атт}}(O)$ – значения показателя

$C(O)$ безошибочности выполнения оператором операции O, рассчитанные на основе статистики оператора в реальных процессах и по результатам аттестации соответственно.

В качестве значения показателя $W(O, \tau)$ будем использовать значение вероятности $P(O, \tau)$ выполнения операции O за фактическое время t, меньшее заданного времени τ. Фактическое время выполнения операции O оператором является случайной величиной. В качестве предельного закона распределения такой случайной величины может быть принято усеченное нормальное распределение $N(\mu, \sigma^2)$, где μ, σ – математическое ожидание, среднеквадратичное отклонение соответственно. На основании теоремы Чебышева в качестве состоятельной оценки математического ожидания может быть использовано выборочное среднее, а в качестве состоятельной оценки дисперсии – среднее арифметическое квадратов отклонений значений выборки от выборочного среднего. В этом случае расчет значения показателя $W(O, \tau)$ осуществляется по формуле

$$W(O, \tau) = c\int_0^{\tau} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} dx, \qquad (5)$$

где τ – предельное (заданное) время выполнения операции; $c = \dfrac{1}{\int_0^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} dx}$ – нормирующий множитель; $\sigma = \sqrt{\dfrac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(t_i-\mu)^2}$; $\mu = \dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n_r} t_i$ (n – количество элементов в выборке, т. е. число выполнения операции в реальных процессах (число выполнения операции при аттестации); t_i – время выполнения операции при выполнении в i-ой реальной работе (в i-ой аттестации)).

В формуле (5) были сделаны следующие допущения:

- выполнения операции в реальных процессах (аттестациях) являются независимыми;
- оператор выполнял операцию O не менее, чем в двух реальных процессах (аттестациях);
- дисперсия времени выполнения операции строго больше нуля.

В качестве значения показателя $C(O)$ безошибочности выполнения оператором боевого расчета операции технологического процесса на основе статистики его работы в реальных процессах (или статистики, полученной по результатам аттестаций) используется значение вероятности $P(O)$ выполнения операции без ошибок. Ошибки оператора при выполнении операции технологического процесса будем рассматривать как поток независимых случайных событий (отказов). Для описания данного потока используется дискретное распределение Пуассона («закон редких событий»):

$$P(O) = P(n = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}, \; k = 0, 1, 2 \ldots, \; \lambda > 0.$$

По методу оценки максимального правдоподобия параметр λ совпадает с выборочным средним. Следовательно, вероятность безошибочного выполнения оператором операции (вероятность того, что за время выполнения операции не произойдет ни одного события (отказа)), равна

$$C(O) = e^{-\frac{\sum_{i=1}^{n} N_i}{n}},$$

где N_i – число допущенных ошибок при выполнении i-ой реальной работы (i-ой аттестации).

Прогноз надежности выполнения оператором операции на момент времени $t + \Delta t$, например на конец периода ожидания, рассчитывается по формуле

$$R_{\text{прогноз}}(O,\, t + \Delta t) = R(O,\, t)e^{\lambda \Delta t},$$

где Δt – интервал времени с момента последней оценки надежности оператора по результатам реальной работы или аттестации до точки прогноза; λ – коэффициент снижения надежности оператора, отражающий потерю опыта в период ожидания, вычисляется по формуле $\lambda = \ln(1 - \Delta R)/\Delta T$, где ΔR – величина, на которую уменьшается надежность оператора за время ΔT с момента последней работы или аттестации в выбранном масштабе измерения Δt (значение ΔR находится в диапазоне (0, 1] и определяется экспертным путем).

На основе оценки надежности выполнения операторами операций технологического процесса могут решаться следующие задачи:

- оценка вероятности успешного выполнения технологического процесса в штатном режиме;
- оценка вероятности успешного выполнения технологического процесса при возникновении нештатных ситуаций;
- определение критических с точки зрения надежности, операций технологического процесса;
- формирование оптимального, с точки зрения надежности выполнения, состава операторов для выполнения технологического процесса;
- выявление операций, вызывающих наибольшие трудности при выполнении технологического процесса;
- обоснованное планирование специальной подготовки операторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смагин В. А. Техническая синергетика. Вероятностные модели сложных систем. СПб., 2004. 171 с.
2. Том И. Э., Красько О. В. Моделирование алгоритмов деятельности оператора в нештатных ситуациях // Вест. национальной академии наук Белоруссии. Сер. Физ.-техн. науки. 2000. №1. С. 112–116.
3. Павлов И. В. Статистические методы оценки надежности сложных систем по результатам испытаний. М.: Радио и связь, 1982. 168 с.

Y. V. Romanenko, A. V. Ekalo

THE OPERATOR RELIABILITY ESTIMATION MODEL FOR MAN-MACHINE SYSTEMS

The integrated assessment model of complex hardware operator reliability in technology process's operations executing is described in article. The integrated assessment model of operator reliability based on timeliness and accuracy characteristics is suggested.

Operator reliability, attestation, technology process

УДК 621.396

Ю. Б. Остапченко, А. В. Шаговиков, Е. Н. Шаповалов

АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАЧЕСТВ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрен процесс формирования профессиональных качеств специалистов по эксплуатации сложных систем и алгоритм его проектирования. Дана краткая характеристика алгоритма применительно к эксплуатационной деятельности специалистов. Предложена концепция виртуального объекта как интегрирующей основы автоматизированных обучающих систем.

Федеральные государственные образовательные стандарты, компетенция, космические средства, жизненный цикл изделий, автоматизированные обучающие системы

Конкретные виды профессиональной деятельности, к которым, в основном, готовится специалист, должны определять содержание образовательной программы, разрабатываемой высшим учебным заведением совместно с заинтересованными работодателями. Основные требования к образовательным программам приведены в государственных образовательных стандартах, содержание которых должно существенно измениться в ближайшее время в связи с вступлением России в Болонский процесс [1].

Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС) третьего поколения, которые вступают в силу в 2011 г., связаны как с воплощением основных принципов Болонского процесса в России, так и с сохранением лучших традиций отечественной системы образования. Эти образовательные стандарты будут представлять собой дальнейшее развитие присущего российской высшей школе системно-деятельностного подхода к образованию, нашедшего свое отражение в стандартах первого и второго поколений.

В реализации ФГОС третьего поколения компетенции и результаты образования рассматриваются как главные целевые установки, как интегрирующие начала «модели» выпускника. Сама компетентностная модель выпускника, с одной стороны, охватывает квалификацию, связывающую будущую его деятельность с предметами и объектами труда, с другой стороны, отражает междисциплинарные требования к результату образовательного процесса [2].

Компетенция – способность применять знания, умения, навыки и личностные качества для успешной деятельности в определенной области. Компетенции подразделяются на две группы: общие (универсальные, надпредметные) и специальные (предметно-специфические, предметно-специализированные).

Результатами образования являются знания, умения, навыки, которые с учетом личностных качеств обучающихся и являются компетенциями. Именно на формирование компетенций и должно быть направлено проектирование образовательной деятельности в соответствии с требованиями ФГОС третьего поколения.

Отметим, что одной из ведущих тенденций в области разработки, производства и эксплуатации сложных систем (изделий, комплексов) является рассмотрение в качестве объекта управления всего жизненного цикла (ЖЦ) изделий, а не отдельных его стадий. Такой подход (в ряде источников он называется теротехнологическим), как свидетельствует практика, обеспечивает снижение суммарных затрат на ЖЦ изделий.

Системы менеджмента качества предприятий, участвующих в работах на всех стадиях ЖЦ изделий, строятся на основе требований гармонизированных стандартов серии ИСО 9000, а также на основе внедрения принципов и технологий управления ЖЦ изделий, включая мониторинг и научно-техническое сопровождение их создания, эксплуатации и утилизации. Учет названных концепций и принципов требует от всех участников ЖЦ умения решать целый ряд новых проблем технического, организационного, экономического и юридического характера, что должно найти свое отражение в образовательном процессе.

С этих позиций можно сделать вывод, что должна быть обеспечена мобильность выпускников: специалисты по эксплуатации (как и другие специалисты) должны быть способны осуществлять профессиональную деятельность на различных стадиях ЖЦ изделий (рис. 1).

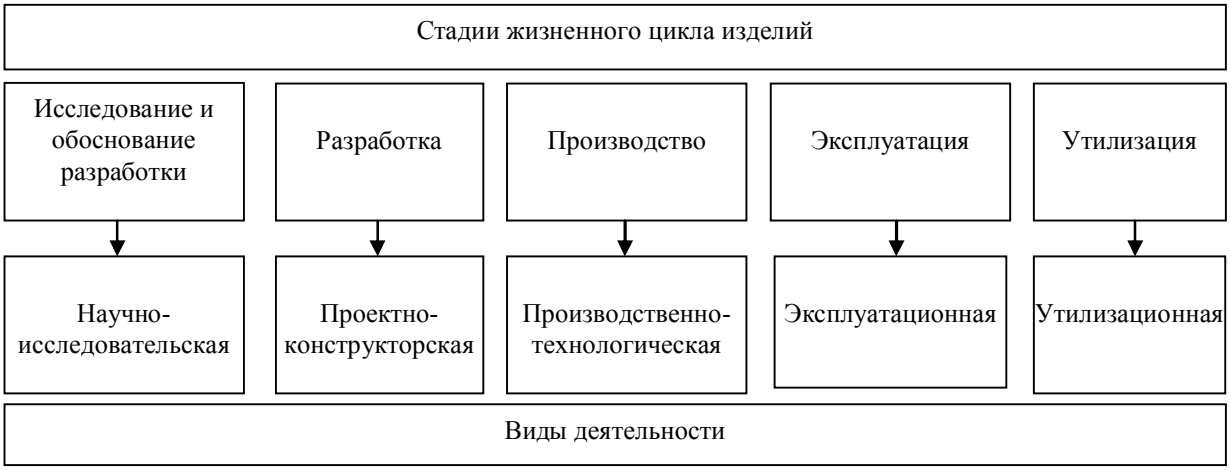


Рис. 1

Обеспечить в течение установленного срока обучения (4–6 лет) высокий уровень подготовки специалиста для всех видов деятельности невозможно. Это связано с традиционной ориентацией инженерных вузов на подготовку специалистов, как правило, деятельности одного вида: конструкторской, технологической, эксплуатационной. Рассмотрение в качестве объекта изучения всего ЖЦ изделий с углубленным изучением деятельности на одной из стадий ЖЦ позволит повысить мобильность выпускников вузов.

Общий подход к проектированию образовательного процесса для деятельности на различных стадиях ЖЦ может быть описан в виде алгоритма, изображенного на рис. 2. Кратко охарактеризуем этапы этого алгоритма применительно к эксплуатационной деятельности специалистов. В качестве изделий рассмотрим комплексы космических средств (КСр) как типичных представителей сложных систем.

Первый этап. Специалист должен быть подготовлен к решению следующих задач:

1) использование в практической деятельности системы документов по эксплуатации КСр;

2) использование КСр по назначению;

3) оценивание технического состояния КСр и выполнение мероприятий по его поддержанию на требуемом уровне и восстановлению;

4) управление подчиненными и организация выполнения требований вышестоящего органа управления;

5) участие в работах по обеспечению требуемого эксплуатационного качества КСр на всех стадиях их жизненного цикла;

6) подготовка, принятие и реализация решений по эксплуатации КСр.

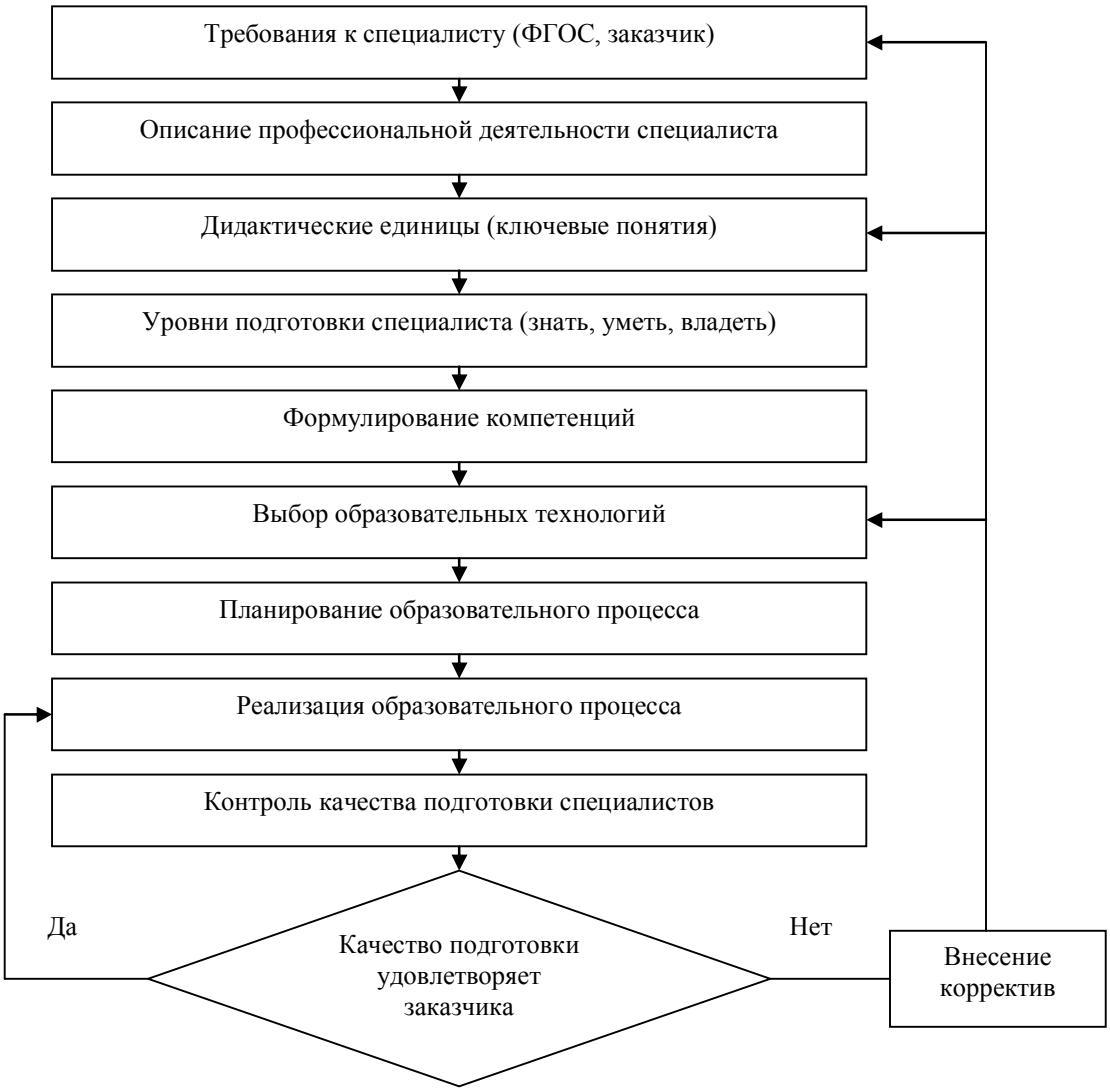


Рис. 2

Второй этап. Главными дидактическими единицами, составляющими основу процесса обучения, являются следующие ключевые понятия: жизненный цикл КСр; эксплуатация; объект эксплуатации; этапы эксплуатации и эксплуатационные процессы; система эксплуатации; управление эксплуатацией; нештатные ситуации; эксплуатационное качество; ресурсоемкость эксплуатации; документация по эксплуатации КСр; техническое состояние; объекты надзора.

На третьем этапе формируются необходимые уровни подготовки специалиста: что он должен знать, уметь и чем должен владеть.

Четвертый этап. Компетенции могут быть сформулированы следующим образом. Специалист способен:

- в качестве руководителя подразделения, лидера группы сотрудников формировать цели команды, принимать организационно-управленческие решения в ситуациях риска и нести за них ответственность, применять методы конструктивного разрешения конфликтных ситуаций;
- принимать в эксплуатацию агрегаты и системы и отрабатывать эксплуатационную документацию;
- осуществлять на основе системного подхода эксплуатацию КСр в соответствии с требованиями эксплуатационной документации, принимать решения о соответствии фактиче-

ских характеристик эксплуатационного качества принимаемой в эксплуатацию и эксплуатируемой техники требуемым значениям;

• выполнять работы по обеспечению высокого качества КСр на всех стадиях их жизненного цикла;

• осуществлять безопасную эксплуатацию КСр в соответствии с требованиями эксплуатационной документации.

Пятый этап. Выбор образовательных технологий, позволяющих реализовывать компетентностную модель специалиста, является одним из наиболее важных с точки зрения содержания образовательного процесса.

Одной из наиболее перспективных образовательных технологий, позволяющих обеспечить высокий уровень практической подготовки специалистов, является разработка и применение автоматизированных обучающих систем (АОС), дающих возможность моделировать различные виды деятельности специалистов. Используемые в настоящее время АОС, как правило, связаны с конкретными образцами техники и типовыми технологическими операциями, проводимыми при их эксплуатации, что существенно ограничивает возможности их применения для обучения специалистов по эксплуатации перспективных образцов КСр.

Опыт использования разработанных ОАО «НИЦ СПб ЭТУ» АОС на объектах космической инфраструктуры показывает, что дальнейшее их развитие должно быть связано с направлением интегрирования АОС в единый комплекс, позволяющий решать следующие актуальные для практики эксплуатации КСр задачи обучения.

1. Изучение конструкции объекта, его особенностей как объекта конструирования, производства, эксплуатации, утилизации.

2. Изучение технологии эксплуатации объекта, назначения и взаимосвязанности операций, сетевых графиков подготовки, состава команды исполнителей (расчетов).

3. Приобретение умений и навыков выполнения типовых технологических операций эксплуатационных процессов в качестве исполнителя.

4. Приобретение умений и навыков выполнения типовых технологических операций в составе расчета исполнителей.

5. Изучение обязанностей начальника расчета и приобретение навыков их выполнения в ходе выполнения эксплуатационных процессов.

6. Изучение обязанностей руководителя эксплуатационного процесса и приобретение навыков их выполнения.

7. Отработка действий в нештатных ситуациях (при возникновении неисправностей).

Одним из путей расширения возможностей АОС является использование концепции виртуального объекта, представляющего собой модель изделия, позволяющую решать все задачи практической деятельности специалистов (см. рис. 2). Решение задач обоснования места виртуальных объектов в общей системе подготовки (особенно практической ее части) и разработки методического обеспечения их использования, как свидетельствует накопленный опыт, позволит существенно повысить качество подготовки специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев В. А., Шубина Н. Л. Высшее образование России в зеркале Болонского процесса: науч.-метод. пособие для пед. работников вузов. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2005. 429 с.

2. Методические рекомендации по разработке проектов Федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования: проект / Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, президиум Координационного совета УМО и НМС высшей школы. М., 2007. 30 с.

Y. B. Ostapchenko, A. V. Shagovikov, E. N. Shapovalov
PROJECTING METHOD FOR PROCESS OF PROFESSIONAL QUALITIES FORMATION FOR SPECIALISTS WORKING WITH COMPLEX SISTEMS

The process of formation of professional skills of specialists working with complex systems and its projecting mechanism were studied. A short characteristic of the mechanism in respect to the operational activity was performed. The concept of virutal object as an integrating basis for automatized educalional systems was suggested.

Federal state educational standards, competence, space facilities, product life cycle, automatized educational systems

УДК 629.5.058.76+004.891+004.588

В. Э. Балтрашевич, С. А. Онкин

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ АОС НА БАЗЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С НЕИЗВЕСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Обсуждается проблема разработки автоматизированной обучающей системы для обучения анализаторов телеметрической информации с неизвестной структурой, которая не поддается формализации и требует использования знаний и навыков опытных экспертов-исследователей. Излагаются необходимые доработки базовой инструментальной экспертной системы.

Обучающие системы, экспертные системы, телеметрическая информация, извлечение знаний

Описание задачи. Телеметрическая информация (ТМИ), поступающая с различных объектов, имеет довольно сложную структуру и большие объемы, что затрудняет ее анализ и требует инструментальных интеллектуальных программных средств поддержки действий специалиста по анализу. Встречаются ситуации, при которых не известна структура ТМИ, известна только предметная область объекта исследования (например, летательные аппараты).

Анализ ТМИ с неизвестными характеристиками предполагает большое число возможных вариантов анализа, требующих принятия конкретных обоснованных решений. Особое значение имеют средства графического анализа ТМИ. Опыт анализа измерительной информации является слабо формализованным, им обладают только квалифицированные специалисты, что затрудняет процесс передачи знаний и навыков от опытных специалистов к молодым, а также приводит к потере знаний при имеющейся текучести кадров. Остро встает необходимость создания обучающих систем, способных и сохранить знания, и продемонстрировать работу эксперта, а также обладающих подробной системой объяснений. Поэтому представляется целесообразным использование экспертных систем (ЭС) для построения автоматизированной обучающей системы (АОС).

Анализ задачи. Обычно ТМИ передается с помощью группового телеметрического сигнала (ГТС) [1]. Необходимо определить структуру ГТС, т. е. наличие и вид маркера, длину слова, число слов в кадре и т. п. После определения структуры ГТС надо провести декоммутацию, а затем идентификацию параметров, по которым возможно построение модели анализируемого

объекта и оценка его характеристик. В настоящее время разработана программа для графического экспресс-анализа потока ТМИ [2], использующая когнитивную графику [3]. Каждый кадр представляется строкой пикселей, соответствующих биту информации. Интерфейсные средства программы позволяют определить значение маркера, менять длину слова и число слов в кадре. При правильном задании этих параметров на экране появляется структурированная картина ГТС в отличие от хаотической картины в начале эксперимента. На рис. 1 показан интерфейс программы графического экспресс-анализа потока ТМИ.

В ГТС в каждом кадре передаются значения отдельных параметров, но частота опроса датчиков может отличаться от частоты передачи кадров, т. е. используется так называемая «субкоммутация» и «суперкоммутация» параметров. Программа графического экспресс-анализа позволяет эксперту с помощью определенных интерфейсных средств выделить (декоммутировать) отдельные параметры и увидеть их графическое представление. Разрабатываемая АОС должна обеспечить возможность сохранения последовательности действий эксперта, их демонстрации и объяснений.

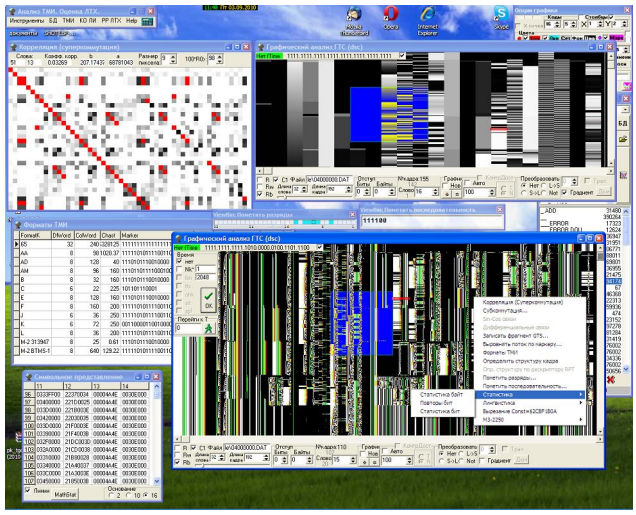


Рис. 1

Для идентификации и приведения параметров к физическому виду (масштабирование, перевод в нужную систему координат и т. д.) разработана программа графического анализа и первичной обработки параметров ТМИ [2] (рис. 2).

Рис. 2

Программные инструменты для идентификации информационно-ценных параметров должны быть связаны функционально, представлять результаты в наиболее информативном виде, в то же время готовом к последующему использованию, с минимальными затратами на задание атрибутов обработки со стороны эксперта-исследователя, позволяя ему сосредоточиться на решении главных задач. Графический анализатор параметров ТМИ должен обеспечивать выполнение следующих функций: 1) ввод и преобразование исходных данных к единому формату; 2) графический анализ параметров, выполняющий основные функции, необходимость реализации которых обусловлена большим опытом анализа ТМИ: графическое отображение зависимости параметров от времени, параметров от других параметров, годографа; графическое отображение двоичных значений параметра; перенос графиков между окнами графиков; перемещение графиков параметров друг относительно друга; редактирование параметров в графическом режиме; редактирование отдельных

разрядов значений параметров; нахождение локальных экстремумов; обработка дискретных измерений; субкоммутирование и суперкоммутирование параметров; преобразование представления параметров в прямой, обратный и дополнительный коды; реверс измерений; построение огибающей функции; вычисление характеристик выделенного фрагмента как активного параметра графика, так и всех параметров графика по выбору пользователя; возможность синхронизации изменений отображаемых фрагментов для всех окон графиков и многое др.; 3) интерполяция; 4) аппроксимация; 5) фильтрация измерений; 6) дифференцирование и интегрирование; 7) расчет коэффициентов корреляции и линий регрессии; 8) сборка параметров различного типа представления; 9) обмен данными с комплексом графического анализа потока ТМИ и другими комплексами анализа ТМИ и оценки характеристик объекта испытаний.

Калькулятор, входящий в состав графического анализатора, предназначен для проведения математических вычислений с использованием стандартных и встроенных математических функций. В качестве значений, используемых в выражениях, возможно применение значений параметров графиков, предопределенных постоянных и данных, содержащихся в базе данных графического анализатора.

Приведенный перечень возможных функций графического анализатора дает представление о том, что работать с ним может только весьма подготовленный пользователь. Для расширения круга пользователей, очевидно, необходимо создать либо обучающую систему, либо вспомогательную программу-консультант, которая помогала бы начинающему пользователю проводить анализ поступающей информации.

Способы получения и представления знаний. При создании обучающих систем встает вопрос об извлечении знаний эксперта. Возможна совместная работа эксперта и инженера по знаниям, но это часто затруднено занятостью эксперта. Хотелось бы иметь средства, которые фиксировали бы все действия эксперта по решению конкретной задачи анализа, и в дальнейшем инженер по знаниям мог бы проанализировать действия эксперта и реализовать их с помощью программных средств. Предлагается работу эксперта рассматривать как один из вариантов тестирования программных средств, тогда весьма перспективным представляется использование средств автоматизации тестирования, таких как WinRunner, SilkTest, Rational Robot, которые используют функциональность Record/Playback [4]. Эта функциональность позволяет средству автоматизации тестирования программного обеспечения работать в режиме видеомагнитофона. Включаете запись (Record), выполняете какие-то действия, останавливаете запись, включаете проигрывание (Playback) и видите, как на экране эти самые действия повторяются с точностью до последнего движения «мыши». Инженер по знаниям сможет разобраться в протоколе работы, записанном с помощью скриптов, и с помощью эксперта уточнить необходимые пояснения, которые можно вставить в скрипты и продемонстрировать работу отредактированных скриптов. Представляется перспективным использование этих средств для извлечения знаний экспертов. Как известно, знания делятся на поверхностные и глубинные. Знания, представленные с помощью скриптов, можно рассматривать как поверхностные знания, которые инженер по знаниям может перевести в продукционное представление. Заметим, что эксперт работает (тестирует) в режиме «черного ящика», а инженер по знаниям – в режиме «белого ящика».

Глубинные знания для анализа структуры ГТС берутся из программы графического экспресс-анализа потока ТМИ, а для анализа и идентификации параметров – из программы графического анализа и первичной обработки параметров ТМИ.

Реализация АОС. При реализации АОС в качестве базовой была выбрана инструментальная ЭС (ИЭС), первая версия которой описана в [5]. ЭС состоит из базы знаний и базы данных, блока трансляции знаний, блока вывода, блока объяснений и блока графического анализа параметров ТМИ. Знания о процессе работы комплекса задаются на продукционном языке эксперта, близком к естественному, а процедуры обработки задаются в качестве глубинных знаний. Структуры данных, описывающие концептуальную модель предметной области, образуют «доску объявлений», с помощью которой происходит обмен информацией между процедурами, описывающими глубинные знания, а также между моделью предметной области и пользователем.

Разные варианты взаимодействия ответов процедур и пользователя приводят к разным режимам работы экспертной системы: автоматическому, при котором ответ процедуры записывается в базу данных ЭС (в стек фактов), минуя пользователя; рекомендующему, при котором ответ процедуры является рекомендацией пользователю, а окончательный ответ определяется пользователем; контролирующему, при котором ответ пользователя проверяется процедурой, и поэтому этот режим находит широкое применение при обучении.

Атрибут может иметь следующие параметры: перевод, вопрос, пояснение (варианты ответов), рекомендации, имя обслуживающей процедуры, номер атрибута (для связи с Help-файлом), признак типа ответа и признак записи ответа. Можно сказать, что для описания атрибута должен использоваться фрейм, т. е. декларативно-процедурная структура данных, содержащая различные поля (слоты). При создании конкретной АОС, комбинируя различные заполнения слотов фрейма, можно использовать различные режимы работы АОС при обработке конкретного атрибута языка эксперта.

Наличие рекомендаций позволяет объяснить пользователю назначение предстоящих действий. Наличие связи с Help-файлом позволяет дать пользователю подробные объяснения из предметной области. Таким образом, наличие системы объяснений ЭС (показывающей историю и прогноз логического вывода), наличие рекомендаций (с пояснениями глубинных знаний), наличие Help-файла (с соответствующими пояснениями из предметной области) фактически реализуют гиперграфовую модель объяснений решения задачи. Интерфейсные средства разработанной системы обеспечивают легкий доступ пользователя к этим средствам.

В АОС необходимо обеспечить режим помощи, при котором должны быть даны пояснения по определению значений конкретного атрибута, при этом должен быть зафиксирован факт помощи. После этого система входит в цикл проверки, признаком окончания которого является правильный ответ обучаемого на заданный вопрос. С учетом имеющихся пояснений пользователь, в принципе, всегда сможет дать правильный ответ.

При заполнении АОС знаниями о конкретной предметной области эксперт должен описать управляющие процессы в форме поверхностных знаний на языке эксперта в отдельном файле. Глубинные знания и структуры данных, описывающие «доску объявлений», должны быть описаны в другом файле по правилам описания внешних модулей языка реализации ЭС. Возможность замены этих файлов для других предметных областей делает разработанную АОС фактически инструментальной АОС.

Вся структура АОС может рассматриваться как модель предметной области, заданная структурами данных и процедурами, к которой добавляется внешняя процедура, реализующая ИЭС.

Тело основной программы – это вызов ИЭС, которая, используя поверхностные знания, заданные на языке эксперта в отдельном файле, осуществляет логический вывод конкретного решения и обеспечивает возможность объяснений и помощи. В традиционных программах глубинные процессы задаются процедурами, а поверхностный процесс задается телом основной программы. Используя традиционную программу, пользователь практически не может понять (просмотреть) ее работу, так как он не может из какой-либо точки программы проследить историю ее работы и узнать возможные пути дальнейшей работы. Если программист и включит в эту программу различные трассировки, то они будут специфичны для конкретной программы. При разработке новой программы трассировки нужно организовывать заново. Запись же тела основной программы на языке эксперта позволяет пользователю с помощью вопросов ПОЧЕМУ? и КАК? познать процесс работы основной программы, режим же помощи АОС напоминает пользователю (при контроле знаний пользователя) суть глубинных процессов, описанных процедурами.

Таким образом, модель программного комплекса (ПК), которую обозначим символом $S1$, может быть представлена в виде совокупности составляющих

$$S1 = \{D1, A1, I1, H1\},$$

где $D1$ – данные; $A1$ – действия по обработке данных; $I1$ – интерфейсные средства; $H1$ – система помощи.

Модель ИЭС, которую обозначим символом $S2$, может быть представлена в виде совокупности составляющих

$$S2 = \{D1, K1, K2, I2, E1, H2\},$$

где $D1$ – данные; $K1$ – поверхностные знания; $K2$ – глубинные знания (действия по обработке данных); $I2$ – интерфейсные средства; $E1$ – система объяснений; $H2$ – система помощи по работе с интерфейсными средствами ИЭС.

Модель эксперта, которую обозначим символом $S3$, может быть представлена в виде совокупности составляющих

$$S3 = \{D1, K3, H3, SO\},$$

где $D1$ – данные; $K3$ – знания и умения эксперта по анализу ТМИ; $H3$ – система помощи по видам и способам обработки ТМИ; SO – последовательность действий по обработке и анализу ТМИ, сформированная экспертом с помощью ПК.

Композиция этих моделей, примененная в инструментальной АОС, приводит к тому, что в качестве $K1$ используются SO, в качестве $K2$ используются $A1$, а в языке эксперта устанавливается связь атрибутов с $H3$.

Апробация разработанной системы. На основе предложенного подхода были разработаны обучающие системы для базовых программ (программы графического экспресс-анализа потока ТМИ и программы графического анализа и первичной обработки параметров ТМИ), позволяющие продемонстрировать базовые действия этих программ, сохранить це-

почки действий экспертов по проведению конкретных видов анализа и обработки параметров ТМИ, а также проконтролировать действия обучаемого. Реализация проводилась в среде визуального программирования Delphi. Для извлечения знаний экспертов, наряду с совместной работой эксперта и инженера по знаниям, использовалось средство автоматизации тестирования Rational Robot.

Использование ЭС позволило задавать, хранить, редактировать и передавать знания на языке, близком к естественному. Система объяснений помогает опытному анализатору при проведении анализа, а новичка направляет и обучает используемым алгоритмам. Использование знаний позволило просто корректировать описание технологических цепочек.

Программы, решающие самостоятельные (законченные) задачи предметной области, оформляются в виде отдельных ПК (например, ПК двигательных установок, ПК системы управления, ПК баллистического обеспечения и т. п.). В каждом программном комплексе реализованы контрольные примеры, обучающие работе с конкретным комплексом. При создании АОС, обеспечивающих решение более сложных задач, требующих взаимодействия различных ПК, опять встает задача: либо рассматривать ПК как «черный ящик», либо – как «белый ящик». Если рассматривать ПК как «черный ящик», то необходимо иметь средства (аналогичные средствам автоматизации тестирования), не только обеспечивающие запуск и завершение конкретного ПК, но и обеспечивающие нажатие конкретной кнопки или пункта меню указанного ПК. Примером программы определения «кодировки» кнопки или пункта меню является программа Spy++, входящая в состав Visual Studio. Авторами была реализована АОС, использующая различные режимы запуска отдельных ПК (как «черный ящик» либо как «белый ящик»), для чего в языке эксперта использована конструкция «процесс».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современная телеметрия в теории и на практике: учеб. курс / А. В. Назаров, Г. И. Козырева, И. В. Шитов и др. СПб.: Наука и техника, 2007. 672 с.

2. Онкин С. А. Алгоритмы и программы анализа телеметрических измерений и оценки летно-технических характеристик баллистических ракет. В 7 ч. Ч. 2: Анализ потока ТМИ и параметров ТМИ. В/ч 13991-П. Инв. № 1283. 2002. 184 с.

3. Зенкин А. А., Поспелов Д. А. Когнитивная компьютерная графика. М: Наука, 1991. 192 с.

4. Винниченко И. В. Автоматизация процессов тестирования. СПб.: Питер, 2005. 203 с.

5. Балтрашевич В. Э. Реализация инструментальной экспертной системы. СПб.: Политехника, 1993. 237 с.

V. E. Baltrashevich, S. A. Onkin

INSTRUMENTAL AUTOMATED LEARNING SYSTEM BASED ON EXPERT SYSTEM FOR ANALYSIS AND PROCESSING TELEMETRIC INFORMATION WITH UNKNOWN CHARACTERISTICS

The problem of developing an automated learning system for training specialists in analyzing telemetry information with unknown structure, which can not be formalized, and requires the use of knowledge and skills of experienced researchers. We present the necessary refinement of basic tool of expert system.

Learning systems, expert systems, telemetry information, extracting knowledge

Сведения об авторах

Балтрашевич Владимир Эдуардович
Доцент кафедры МОЭВМ СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: (812) 234-26-82. E-mail: baltr@nicetu.spb.ru.

Беляев Сергей Алексеевич
Ассистент кафедры МОЭВМ СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: (812) 703-75-87 (доб. 120). E-mail: beliaev@nicetu.spb.ru.

Бочкарёв Илья Владиславович
Инженер-программист ОАО «НИЦ СПб ЭТУ»
Тел.: +7(911) 298-75-62. E-mail: tesei7@gmail.com.

Бычков Юрий Александрович
Профессор кафедры теоретических основ электротехники СПбГЭТУ, д-р тенх. наук.
Тел.: (812) 346-17-96.

Васильев Александр Владимирович
Заместитель главного конструктора по направлению ОАО «НИЦ СПб ЭТУ», канд. техн. наук.
Тел.: (812) 703-75-86 (доб. 177). E-mail: vasiljev@nicetu.spb.ru.

Виноградов Максим Николаевич
Инженер-тестировщик ОАО «НИЦ СПб ЭТУ», магистр прикладной математики и информатики.
Тел.: +7(921) 321-58-80. E-mail: mvn@nicetu.spb.ru.

Витол Александр Дмитриевич
Инженер-программист II категории, научно-исследовательский отдел ОАО «НИЦ СПб ЭТУ».
Тел.: (812) 703-75-86 (доб. 154). E-mail: vad@nicetu.spb.ru.

Воронов Юрий Викторович
Доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: (812) 234-10-13. E-mail: Voron945@mail.ru.

Дерипаска Антон Олегович
Инженер-программист ОАО «НИЦ СПб ЭТУ».
Тел.: (812) 703-75-86 (доб. 154). E-mail: Deripas@yandex.ru.

Дмитриев Герман Иванович
Ученый секретарь СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: (812) 234-10-13. E-mail: Sznmc_@mail.ru.

Жукова Наталия Александровна
Начальник научно-исследовательского отдела ОАО «НИЦ СПб ЭТУ», канд. техн. наук.
Тел.: (812) 703-75-86 (доб. 154). E-mail: nzhukova@nicetu.spb.ru.

Завалишин Андрей Александрович
Начальник группы ОАО «НИЦ СПб ЭТУ».
Тел.: (812) 703-75-87 (доб. 121). E-mail: aaz@nicetu.spb.ru.

Законников Евгений Александрович
Ведущий научный сотрудник Северо-Западного научного методического центра СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: (812) 234-10-13. E-mail: Zea_@mail.ru.

Калишенко Евгений Леонидович
Начальник группы ОАО «НИЦ СПб ЭТУ», магистр техники и технологии.
Тел.: +7(911)716-81-27. E-mail: kel@nicetu.spb.ru.

Кирьянчиков Владимир Андреевич
Доцент кафедры МО ЭВМ СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: +7(911) 280-80-00. E-mail: vak@nicetu.spb.ru.

Князева Татьяна Николаевна
Младший научный сотрудник ОАО «НИЦ СПб ЭТУ».
Тел.: (812) 703-75-86 (доб. 177). E-mail: ktn@nicetu.spb.ru.

Королёв Юрий Алексеевич
Инженер-программист 2-й категории ОАО «НИЦ СПб ЭТУ», бакалавр техники и технологии.
Тел.: +7(962) 704-31-54. E-mail: yury.king@gmail.com.

Крестелёв Данила Вадимович
Инженер-программист 2-й категории ОАО «НИЦ СПб ЭТУ».
Тел.: +7(921) 597-05-46. E-mail: kdv@nicetu.spb.ru.

Лисс Анна Александровна
Главный конструктор проекта ОАО «НИЦ СПб ЭТУ», канд. техн. наук, доцент.
Тел.: (812) 703-71-88. E-mail: Anna@nicetu.spb.ru.

Маевский Сергей Владимирович
Начальник группы ОАО «НИЦ СПб ЭТУ», магистр.
Тел.: +7(905) 263-88-40. E-mail: serg@nicetu.spb.ru.

Маркелов Олег Александрович
Аспирант кафедры радиотехнических систем СПбГЭТУ.
E-mail: OlegMarkelov@gmail.com.

Мейев Владислав Алексеевич
Ведущий научный сотрудник Северо-Западного научного методического центра СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
Тел.: (812) 234-10-13. E-mail: Meyev@mail.ru.

Миненков Дмитрий Владимирович
Аспирант кафедры автоматики и процессов управления СПбГЭТУ.
Тел.: +7(905) 221-78-33. E-mail: dm.v.minenkov@gmail.com.

Онкин Сергей Александрович
Главный конструктор проекта ОАО «НИЦ СПб ЭТУ».
Тел.: (812) 703-75-86 (доб. 176). E-mail: onkin@nicetu.spb.ru.

Опалева Эльвира Александровна
Начальник департамента разработки ОАО «НИЦ СПб ЭТУ», канд. техн. наук, доцент.
Тел.: (812) 703-71-88. E-mail: EAOpaleva@nicetu.spb.ru.

Орешко Николай Иванович
Ведущий научный сотрудник ОАО «НИЦ СПб ЭТУ», канд. техн. наук.
Тел.: +7(921) 751-75-58. E-mail: oreshko@nicetu.spb.ru.

Остапченко Юрий Борисович
Главный инженер ОАО «НИЦ СПб ЭТУ».
Тел.: (812) 703-74-82. E-mail: ou@nicetu.spb.ru.

Павловский Михаил Григорьевич
Начальник отдела ОАО «НИЦ СПб ЭТУ».
Тел.: (812) 703-75-87. E-mail: pavlovskiy.michail@ nicetu.spb.ru.

Постников Евгений Валентинович
Профессор кафедры высшей математики № 1 СПбГЭТУ, д-р техн. наук.
Тел.: (812) 346-33-89. E-mail: evpost@nicetu.spb.ru.

Романенко Дмитрий Александрович
Инженер-программист 3-й категории ОАО «НИЦ СПб ЭТУ».
Тел.: (812) 703-75-87 (доб. 122). E-mail: romanenko.dmitry@nicetu.spb.ru.

Романенко Сергей Александрович
Заместитель начальника Департамента разработки ОАО «НИЦ СПб ЭТУ», канд. техн. наук.
Тел.: +7(921) 312-03-22. E-mail: s_romanenko@mail.ru.

Романенко Юлия Владимировна
Начальник отдела мультимедиа-приложений и обучающих систем ОАО «НИЦ СПб ЭТУ».
Тел. +7(921) 900-54-59. E-mail: yvrom@mail.ru.

Романов Аркадий Сергеевич
Инженер-программист ОАО «НИЦ ЭТУ». Магистр техники и технологии, аспирант кафедры МО ЭВМ СПбГЭТУ.
Тел.: +7(952) 390-49-99. E-mail: ras@nicetu.spb.ru arkadyrom@gmail.com.

Романцев Вениамин Викторович
Доцент кафедры МО ЭВМ СПбГЭТУ, канд. техн. наук, доцент.
Тел.: (812) 703-75-84. E-mail: vromantzev@nicetu.spb.ru.

Смирнов Борис Иванович
Доцент кафедры радиотехнических систем СПбГЭТУ, канд. техн. наук.
E-mail: dmcs-2010@yandex.ru.

Соколов Игорь Сергеевич
Заместитель начальника научно-исследовательского отдела ОАО «НИЦ СПб ЭТУ».
Тел.: +7(904) 619-48-30. E-mail: igor.s.sokolov@gmail.com.

Филиппов Максим Федорович
Программист «Votorola Inc».
Тел.: (812) 254-35-93. E-mail: jcmvbkbc@gmail.com.

Холод Иван Иванович
Заместитель начальника департамента разработки ОАО «НИЦ СПб ЭТУ», канд. техн. наук, доцент.
Тел.: (812) 703-71-88. E-mail: Ivan.holod@nicetu.spb.ru.

Шаговиков Александр Васильевич
Ведущий специалист ОАО «НИЦ СПб ЭТУ», канд. техн. наук, доцент.
Тел.: (812) 703-74-82. E-mail: sav@nicetu.spb.ru.

Шаповалов Евгений Николаевич
Ведущий специалист ОАО «НИЦ СПб ЭТУ», канд. техн. наук, доцент.
Тел.: (812) 703-74-82. E-mail: ou@nicetu.spb.ru.

Шевцов Игорь Валерьевич
Инженер-электрик ОАО «Кольская горно-металлургическая компания» (Мурманская обл., г. Мончегорск). Аспирант кафедры автоматики и процессов управления СПбГЭТУ.
Тел.: +7(952) 243-62-26. E-mail: igoramus@monch.mels.ru.

Шумаков Александр Александрович
Аспирант кафедры теоретических основ электротехники СПбГЭТУ.
Тел.: +7(911) 891-76-01. E-mail: sandecstp@gmail.com.

Щербаков Сергей Валерьевич
Первый заместитель председателя государственной комиссии Псковской области по организации государственных закупок, д-р техн. наук.
Тел.: +7(911) 379-74-45.

Экало Александр Владимирович
Директор ФГУП «НИИ ПС», д-р техн. наук, доцент.
Тел.: (812) 297-16-49. E-mail: niipc@mail.ru.

Правила представления рукописей авторами

В редакционный совет журнала «Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ"» необходимо представить:

● файлы на дискете либо CD (в отдельных случаях по предварительному согласованию с редсоветом допустима передача материалов по электронной почте):

- рукопись статьи;
- сведения об авторе(ах);

● документы на листах формата А4 (1 экз.):

- рукопись статьи;
- сведения об авторе(ах);
- рекомендация кафедры с указанием наименования тематического раздела, в котором предполагается опубликование материала;
- экспертное заключение о возможности опубликования материала в открытой печати;
- сопроводительное письмо (только для авторов, не работающих (не обучающихся) в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

Сведения об авторах должны содержать:

1. Фамилию, имя, отчество (полностью) автора.
2. Основное место работы.
3. Должность.
4. Ученую степень, ученое звание.
5. Контактный телефон, адрес электронной почты.

Все сведения печатаются в строку (без пунктов) на русском и английском языках.

Правила оформления текста статьи

Статья должна быть тщательно отредактирована, содержать признаки научной публикации:

● текстовой редактор Microsoft Word версии не ниже 97;

● формат бумаги А4;

● параметры страницы: поля – верхнее 3 см, левое и нижнее 2.5 см, правое 2 см, верхний колонтитул 2 см, нижний колонтитул 2 см;

● основной текст статьи: шрифт «Times New Roman» 12 pt; выравнивание по ширине; первая строка с абзацным отступом 1 см; межстрочный интервал «Множитель 1.2».

На первой странице указывается индекс УДК (в левом верхнем углу; шрифт «Arial» 12 pt, интервалы: «перед» 18 pt, «после» 6 pt; межстрочный интервал «Множитель 1.2»); далее даются инициалы и фамилии авторов, затем название статьи, краткая аннотация статьи и ключевые слова на русском языке. Инициалы и фамилии авторов, название статьи, краткая аннотация статьи и ключевые слова на английском языке размещаются в конце публикации после библиографического списка.

Перечень авторов разделен запятыми, инициалы перед фамилиями (шрифт «Arial» 14 pt, жирный курсив; выравнивание по правому краю, абзацный отступ слева 1 см; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем и после него 0 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»).

Название статьи набирается прописными буквами (шрифт «Arial» 18 pt; выравнивание по левому краю; отступ слева 0.5 см, автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем и после него – 6 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»).

Аннотация содержит 3–7 строк, характеризующих содержание статьи (шрифт «Times New Roman» 10 pt, курсив; выравнивание по ширине; отступы: слева и справа 1.5 см, первая строка 0.7 см; интервалы перед абзацем и после него 12 pt, межстрочный интервал одинарный).
Ключевые слова состоят из 3–10 слов и словосочетаний, отражающих содержание статьи, разделенных запятыми, в конце их перечисления точка не ставится; шрифт «Times New Roman» 10 pt, жирный; выравнивание по левому краю; автоматические переносы отключены; интервалы перед абзацем 0 pt, после него 6 pt, межстрочный интервал одинарный).
Далее следует текст статьи.
После основного текста следует библиографический список, который включает:

- *заголовок* «Список литературы» (шрифт «Times New Roman» 12 pt; выравнивание по центру; интервалы: перед абзацем 12 pt, после него 6 pt, межстрочный интервал «Множитель 1.2»);
- *библиографическое описание источника* с порядковым номером ссылки на него по тексту, начиная с первого, выполненное по ГОСТ 7.3–2003. Библиографическое описание документа. Введ. 01.07.2004 / Госкомстандарт. М., 2004 (отдельным абзацем; шрифт «Times New Roman» 10 pt; первая строка с абзацным отступом 0.7 см; выравнивание по ширине; межстрочный интервал одинарный).

Библиографический список не должен превышать 10 (для обзорных заказных статей – 20) наименований: приводятся только источники, на которые есть ссылки в тексте (ссылки на неопубликованные и нетиражированные работы не допускаются).
Для создания *формул* используются встроенные возможности Word и (или) редактора MathType. Необходимо использовать следующие установки редактора формул. Размеры: «полный» 12 pt, «подстрочный» 10 pt, «под-подстрочный» 9 pt, «символ» 18 pt, «подсимвол» 12 pt; стили: текст, функция, число – шрифт «Times New Roman», вектор-матрица – шрифт «Times New Roman», жирный; греческий малый, греческий большой, символ – шрифт «Symbol», прямой; переменная – шрифт «Times New Roman», курсив.
На каждый рисунок и таблицу в тексте статьи необходимо дать ссылку. Каждый рисунок и таблица должны быть пронумерованы (напр.: Рис. 1, Табл. 3).
Текст в *таблицах* печатается через 1 интервал, шрифт «Times New Roman»; основной текст 10 pt, индексы 8 pt. Нумерационный заголовок содержит слово «Таблица» и ее номер арабскими цифрами (без знака номера перед ними и без точки на конце); выравнивается по правому краю таблицы и выделяется светлым курсивом.
Рисунки цифрового формата (в электронном виде) создаются средствами Word или другими программами в черно-белом виде. Цветные рисунки не допускаются. Рисунки не редактируются. Основные линии на рисунках (границы блоков и соединительные линии на схемах, линии графиков) имеют толщину 1.25 pt, вспомогательные (линии-выноски, оси, размерные линии) – 0.75 pt.
Описание содержания рисунка, а также введенных на нем обозначений следует приводить в основном тексте статьи. Подпись под рисунком содержит только его номер (шрифт «Times New Roman», курсив, 11 pt) и располагается по центру рисунка. Все тексты и обозначения на

рисунке даются шрифтом размером 10 pt с единичным межстрочным интервалом; цифровые обозначения на линиях выносок, буквенные обозначения фрагментов и номер рисунка даются курсивом.

При невозможности представить электронные версии рисунков следует представить только твердые копии, обеспечивающие качественное воспроизведение рисунков после их сканирования (графики – черной тушью на белой бумаге, фотографии – на матовой бумаге размером не менее 9 × 12 см, не более 21 × 30 см).

Перечень основных тематических направлений журнала:

- Радиоэлектроника и телекоммуникации.
- Физика твердого тела и электроника.
- Информатика, управление и компьютерные технологии.
- Автоматизация и управление.
- Электротехника.
- Приборостроение и информационные технологии.
- Биотехнические системы в медицине и экологии.
- Управление качеством, инновационный и антикризисный менеджмент.
- Гуманитарные науки.
- История науки, образования и техники.
- Современные технологии в образовании.

Рукописи аспирантов печатаются бесплатно.

Технические вопросы можно выяснить по адресу: Izvestiya-leti@yandex.ru