

«Инфокоммуникационные технологии»

Периодический научно-технический и информационно-аналитический журнал
Том 17, № 1, 2019

Учредитель журнала:

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (г. Самара)

Соучредитель журнала:

Академия телекоммуникаций и информатики (г. Самара)

Редакционный совет:

Андреев В.А., д.т.н., профессор – председатель совета, главный редактор (ПГУТИ, г. Самара); Шорин В.П., академик РАН (СНЦ РАН, г. Самара); Зубарев Ю.Б., член-корреспондент РАН (РАН, г. Москва); Сойфер В.А., академик РАН (Самарский университет, г. Самара); Бузов А.Л., д.т.н., профессор (АО «Концерн «Автоматика», г. Самара); Васильев К.К., д.т.н., профессор (УлГТУ, г. Ульяновск); Воронин А.А., д.ф-м.н., профессор (ВолГУ, г. Волгоград); Кубанов В.П., д.т.н., профессор (ПГУТИ, г. Самара); Лихтциндер Б.Я., д.т.н., профессор (АТИ, г. Самара); Лялин В.Е., д.т.н., профессор (ИжГТУ, г. Ижевск); Мостовой Я.А., д.т.н., профессор (Самарский университет, г. Самара); Надеев А.Ф., д.ф-м.н., профессор (КНИТУ-КАИ, г. Казань); Султанов А.Х., д.т.н., профессор (УГАТУ, г. Уфа); Цым А.Ю., д.т.н., с.н.с. (ЦНИИС, г. Москва); Червяков Н.И., д.т.н., профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Щербаков М.А., д.т.н., профессор (ПГУ г. Пенза).

Редакционная коллегия:

Абрамов В. Е., д.филол.н., профессор; Андропова И.В., д.пол.н., профессор; Бахарева Н.Ф., д.т.н., профессор; Блатов И.А., д.ф-м.н., профессор; Бурдин В.А., д.т.н., профессор – заместитель главного редактора; Васин Н.Н., д.т.н., профессор; Горячкин О.В., д.т.н., профессор; Димов Э.М., д.т.н., профессор; Карташевский В.Г., д.т.н., профессор; Маслов О.Н., д.т.н., профессор – заместитель главного редактора; Осипов О.В., д.ф-м.н., профессор; Росляков А.В., д.т.н., профессор; Тарасов В.Н., д.т.н., профессор; Тяжев А.И., д.т.н., профессор.

Ответственный секретарь: Губарева О.Ю.

Редактор номера: Маслов О.Н.

Компьютерный набор и верстка: Андреев И.Д.

Материалы, полученные по e-mail, печатаются в авторской редакции.

Адрес редакции и издателя журнала:

443010, Россия, г. Самара, ул. Льва Толстого, 23, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики. Телефон (846) 332-21-61. Факс (846) 333-58-56.

E-mail: redikt@psati.ru

Издается с 2003 г. Выходит 4 раза в год.

ПИ № 77-14381 от 17.01.2003 г. выдано Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовой информации.

Решением ВАК Минобразования России журнал «Инфокоммуникационные технологии» включен в перечень ведущих научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

© Инфокоммуникационные технологии, 2018.

Подписной индекс 46832 в каталоге ОАО Агентства «Роспечать».

СОДЕРЖАНИЕ

Мишин Д.В.	О подготовке кадров по цифровой экономике	7
------------	---	---

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И СИГНАЛОВ

Коваленко А.И., Смирнов С.В.	Сравнение гиперэкспоненциального распределения с другими моделями положительно определенных случайных величин	9
---------------------------------	---	---

Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф., Када Отхмане	Система массового обслуживания $HE_2/HE_2/1$	17
---	--	----

ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Алехин И.Н., Гаврюшин С.А., Попов В.Б., Никулина Т.Г., Мотин К.И.	Исследование стойкости кабелей связи к изгибам в условиях низких отрицательных температур	23
---	---	----

Карташевский И.В., Малахов С.В., Мезенцева Е.М.	Сравнение подходов к определению среднего времени ожидания в системе массового обслуживания вида $H_2/H_2/1$	28
---	--	----

ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

Буранова М.А., Карташевский В.Г.	Моделирование джиттера пакетов при передаче по мультисервисной сети	34
-------------------------------------	---	----

Песчанский А.И.	Стационарные характеристики ненадежной системы с ветвящейся структурой и учетом технического обслуживания ее элементов	41
-----------------	--	----

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Димов Э.М., Маслов О.Н., Хаджиева С.В.	Имитационное моделирование бизнес-процесса разработки и кастомизации интеграционных решений в интересах управления ИТ-компанией	49
--	---	----

Богданова Е.А., Михаленко Ю.А.	Имитационное моделирование бизнес-процесса «Поиск и выбор поставщика продукции»	63
-----------------------------------	---	----

Головкина М.В.	Расчет параметров сенсоров для биологических исследований на основе ступенчатого волокна с перетяжкой	69
----------------	---	----

Богомолова М.А., Клементьев С.А.	Методика разработки архитектурных компонентов iOS приложения «Госуслуги Москвы» через тестирование	75
-------------------------------------	--	----

ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Горячкин О.В., Гусев Н.А.	Применение методов слепой коррекции изображений в аппаратно-программном комплексе «Орлан»	82
------------------------------	---	----

Абдрахманова Г.И., Мешков И.К., Князев Н.С., Султанов А.Х.	Экспериментальные исследования СШП излучателя	90
---	---	----

УПРАВЛЕНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ

Рыжаков В.В., Рыжаков К.В., Рыжаков М.В.	Методика распознавания объекта на основе кластерного анализа нечетких ситуаций	96
--	--	----

ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Димов Э.М., Маслов О.Н.	Информационные технологии цифровой экономики: образовательные и научно-исследовательские аспекты	100
----------------------------	--	-----

Малахов И.А., Матвеева Е.А., Шук Н.Н.	Практические особенности проектирования медицинской информационной системы для отделений реанимаций и интенсивной терапии	115
---	---	-----

Данилаев Д.П., Маливанов Н.Н.	Особенности взаимодействия предприятий и вузов в условиях цифровой экономики	127
----------------------------------	--	-----

К 90-летию со дня рождения Василия Павловича Пуккина		131
--	--	-----

CONTENTS

Mishin D.V.	Employees training for the digital economy	7
--------------------	---	----------

THEORETICAL TECHNOLOGICAL BASIS OF INFORMATION TRANSMISSION AND SIGNALS

Kovalenko A.I., Smirnov S.V.	Comparison of hyperexponential distribution and other models for positively defined random variables	9
Tarasov V.N., Bakhareva N.F., Kada Othmane	Queueing system $HE_2/HE_2/1$	17

TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES

Alekhin I.N., Gavryushin S.A., Popov V.B., Nikulina T.G., Motin K.I.	Bending resilience study for communication cables at the low negative temperatures	23
Kartashevskiy I.V., Malakhov S.V., Mezentseva E.M.	Comparison of different approaches for estimating the average waiting time in the queue for queueing system $H_2/H_2/1$	28

COMPUTER NETS AND SYSTEMS TECHNOLOGIES

Buranova M.A., Kartashevskiy V.G.	Analysis of general queueing system with selects functions	34
Peschansky A.I.	Stationary characteristics of unreliable system with branching structure and elements' maintenance	41

NEW INFORMATION TECHNOLOGIES

Dimov E.M., Maslov O.N., Khadzhieva S.V.	Simulation modeling business process of development and customization of integration decisions in the interests of IT-company management	49
Bogdanova E.A., Mikhaleenko I.A.	Applications of simulation in the business process	63
Golovkina M.V.	Interference signal analysis for bi-tapered fiber sensor	69
Bogomolova M.A., Klementyev S.A.	Test-driven development methodology of architectural components for iOS mobile app «Moscow's Gosuslugi»	75

RADIO TELECOMMUNICATION, RADIOBROADCASTING AND TELEVISION TECHNOLOGIES

Goryachkin O.V., Gusev N.A.	Application of blind image correction methods to ORLAN hardware and software solution	82
Abdrakhmanova G.I., Knyazev N.S., Meshkov I.K., Sultanov A.Kh.	UWB antenna experimental study	90

ENGINEERS MANAGEMENT AND TRAINING FOR TELECOMMUNICATIONS

Ryzhakov V.V., Ryzhakov K.V., Ryzhakov M.V.	Object recognition method based on clustering analysis of fuzzy situation	96
--	--	-----------

DIGITAL ECONOMY TECHNOLOGIES

Dimov Ad.M., Maslov O.N.	Information technologies of the digital economy: educational and research aspects	100
Malahov I.A., Matveeva E.A., Shuk N.N.	Project of medical information system for intensive care units	115
Danilaev D.P., Malivanov N.N.	Interaction specifics between enterprises and universities in digital economy context	127
On the 90th anniversary of Vasily Pavlovich Pukkin		131

«Infokommunikacionnye tehnologii»

Periodic technical and scientific information and analytical magazin
2019, Vol. 17, No. 1

Founder of the journal:

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics (Samara)

Co-founder of the journal:

Academy of Telecommunications and Informatics (Samara)

Editorial Management

Andreev V.A., Doctor of Technical Science, Professor – Chairman of the Board, Chief Editor (PSUTI, Samara);

Shorin V.P., Academic Professor RAS (Russian Academy of Sciences, Samara)

Zubarev U.B., RAS Corresponding Member (RAS, Moscow);

Soifer V.A., Academic Professor RAS (Russian Academy of Sciences, Samara);

Buzov A.L., Doctor of Technical Science, Professor (Avtomatika, Ltd., Samara);

Vasiliev K.K., Doctor of Technical Science, Professor (UISTU, Ulyanovsk);

Voronin A.A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (VolSU, Volgograd);

Kubanov V.P., Doctor of Technical Science, Professor (PSUTI, Samara);

Lihttsinder B.Y., Doctor of Technical Science, Professor (ATI, Samara);

Lyalin V.E., Doctor of Technical Science, Professor (IzhSTU, Izhevsk);

Mostovoi J.A., Doctor of Technical Science, Professor (Samara Univ., Samara);

Nadeev A.F., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (KNRTU-KAI, Kazan);

Sultanov A.H., Doctor of Technical Science, Professor (USATU, Ufa);

Tsym A.Y., Doctor of Technical Science, Senior Manager Associate, (CSRJC, Moscow);

Chervyakov N.I., Doctor of Technical Science, Professor (NCFU, Stavropol);

Shcherbakov, M.A., Doctor of Technical Science, Professor (PSU, Penza).

Editorial board

Abramov V.E., Doctor of Philological Science, Professor; Andronova I.V. Doctor of Political Science,

Professor; Bahareva N.F., Doctor of Technical Science, Professor; Blatov I.A., Doctor of Physical

and Mathematical Sciences, Professor; Burdin V.A., Doctor of Technical Science, Professor – Deputy

Editor; Vasin N.N., Doctor of Technical Science, Professor; Goryachkin O.V., Doctor of Technical

Science, Professor; Dimov E.M., Doctor of Technical Science, Professor; Kartashevskii V.G., Doctor

of Technical Science, Professor; Maslov O.N., Doctor of Technical Science, Professor – Deputy

Editor; Osipov O.V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor; Roslyakov A.V.,

Doctor of Technical Science, Professor; Tarasov V.N., Doctor of Technical Science, Professor;

Tyagev A.I., Doctor of Technical Science, Professor.

Executive editor: Gubareva O.Ju.

Editor of issue: Maslov O.N.

Type setting and page make up: Andreev I.D.

Materials received by E-mail, published in author's edition.

Editor and Publishing House address:

Lev Tolstoy, 23, Samara, 443010, Russia,

Federal State Educational Budgetary Institution of Higher Professional Education «Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics». Phone +7 846 332 21 61. FAX +7 846 333 58 56.

E-mail: redikt@psati.ru

Published since 2003. Edited 4 times a year. Licensed № 77-14381 on 17.01.2003 issued by Russian Federation Ministry of Press Television and Mass Media

Under the verdict of Russian Federation Ministry of Education Highest Attestation Committee

«Infokommunikacionnye tehnologii» journal is listed in a Leading Scientific Edition

enumeration where main results of Doctorate Theses should be published.

© Infokommunikacionnye tehnologii, 2018.

О ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ ПО ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

Мишин Д.В.,

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: mishin@psati.ru*

В настоящее время подготовка квалифицированных ИТ-специалистов с широким спектром цифровых компетенций – это одно из основных направлений Государственной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Первоочередной задачей системы образования является подготовка кадров, обладающих необходимыми компетенциями в условиях цифрового общества. Новые кадры должны в совершенстве владеть информационными и цифровыми технологиями. А этого можно достичь только совместными усилиями университетов, работодателей и органов государственного управления по развитию кадрового потенциала. В ближайшей перспективе должно появиться больше выпускников университетов, которые обладают базовыми компетенциями цифровой экономики (ЦЭ). Важно, чтобы у людей появилась мотивация осваивать новые направления, которые востребованы ЦЭ. К этому нужно привлекать и работодателей, а крупные компании, в том числе с государственным участием, могли бы создавать обучающие сервисы, курсы и образовательные центры.

На сегодняшний день, по мнению экспертов, ЦЭ является одним из ключевых драйверов развития страны. Важность ее развития неоднократно подчеркивалась на заседаниях Правительства РФ. Данный факт был непосредственно озвучен в послании Президента РФ 5 июля 2017 года. Министром цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ Носковым К.Ю. также отмечена важность запуска больших образовательных программ обучения. При этом в Поволжском регионе накоплен значительный потенциал для создания регионального ИТ-кластера программы «Цифровая экономика», ядром которого бы явилась образовательная организация высшего образования, ориентированная на ИТ-отрасль. Вышесказанное создает все предпосылки для выбора по данной тематике отраслевой образовательной организации высшего образования Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ) и создание на базе ПГУТИ инфокоммуникационного сектора в рамках ИТ-кластера Самарской области.

Одним из основных механизмов сотрудничества ИКТ-сектора ИТ-кластера Самарской области

с подведомственными Росвязи организациями является создание венчурного фонда, целью которого являлась бы поддержка перспективных стартап-проектов, выполняемых студентами различных вузов. В рамках «распределенного» венчурного фонда возможно создание межвузовского инвестиционного комитета для проведения экспертизы стартапов студентов вузов Росвязи. В состав этого комитета войдут высококвалифицированные ученые и сотрудники подведомственных Росвязи вузов и научно-исследовательских организаций. Для проведения дистанционной экспертизы стартапов, а также для их продвижения целесообразно разработать единую цифровую платформу. Интересной и весьма перспективной идеей представляется замена (или совмещение) для талантливых студентов классической защиты выпускной квалификационной работы перед государственной аттестационной комиссией на защиту стартапов перед межвузовским инвестиционным комитетом венчурного фонда с последующими инвестициями в перспективные проекты. В этом случае имеющие значимость для регионов стартапы получают свое дальнейшее развитие. При этом речь идет не только о финансовой поддержке, но и о дальнейшем привлечении к ним высококвалифицированных специалистов и других талантливых студентов из других подведомственных Росвязи организаций, а также использование лабораторных баз и площадок подведомственных НИИ.

Таким образом, создание отраслевого ИКТ-сектора в ИТ-кластере Самарской области на базе ПГУТИ позволит привлечь к решению значимых задач для региона в ИТ-сфере ведущих специалистов и талантливых студентов из таких вузов как МГУСИ (г. Москва), СПбГУТ (г. Санкт-Петербург) и СибГУТИ (г. Новосибирск). Это также поспособствует привлечению в качестве экспертов ИТ-проектов специалистов из образовательных и научно-исследовательских организаций, подведомственных Федеральному агентству связи. В результате создания ИКТ-сектора в рамках ИТ-кластера Самарской области на базе отраслевого вуза произойдет расширение опытно-конструкторских и производственных возможностей за счет использования инфраструктуры таких ор-

ганизаций как ФГУП НИИР, ФГУП НИИС, ГП «Космическая связь» и ФГУП «Российские сети вещания и оповещения».

Идея создания инфокоммуникационного сектора в рамках IT-кластера поддержана руководителем Федерального агентства связи РФ О.Г. Духовническим, который озвучил намерение оказать соответствующую поддержку развитию данного направления, в том числе организации венчурного фонда, ориентированного на финансовую поддержку научно-инновационных проектов инфокоммуникационного сектора IT-кластера.

В настоящее время Правительство Самарской области поручило ПГУТИ разработку концепции создания ИКТ-сектора в рамках IT-кластера Самарской области, проект которой уже направлен в Федеральное агентство связи и Министерство экономического развития и инвестиций Самарской области. Уже сегодня в вузах, подведомственных Россвязи, подготовлено и реализуется порядка десяти масштабных инновационных проектов, значимых для развития IT-кластера и направленных на решение ряда задач, сформулированных в «Стратегиях развития» различных регионов РФ. Важным видится создание центров компетенций и аттестации ЦЭ. Центры компетенций будут собирать предложения по ключевым компетенциям для всех обучающихся и выпускников общего образования на основе типовой расширяемой структуры модели компетенций и перечня компетенций для ЦЭ. Также будет разрабатываться преемственная система требований к сформированности ключевых компетенций цифровой экономики для обучающихся и выпускников каждого из уровней общего образования.

ПГУТИ может стать организацией, отвечающей за разработку и тестирование модели компетенций. На основе анализа рынка труда и основных сегментов целевой аудитории программы необходимо сформулировать предложения по набору возможных форматов аттестации для последующего пилотного внедрения, а также выступать в качестве базы для пилотного внедрения компетентностной модели, так как ПГУТИ обладает достаточными ресурсами и опытом образовательной деятельности по данной модели. С использованием построенной компетентностной модели возможно формирование индивидуального профиля компетенций каждого субъекта, что позволит выбрать индивидуальный вектор развития и адаптации к реалиям ЦЭ, выявлять и развивать приоритетные компетенции с их параллельной интеграцией с рынком труда. Разработанная карта компетенций позволит качествен-

но и обоснованно определять уровень цифровой грамотности населения и слабо подготовленные слои, в том числе основные проблемные области подготовки (технические, информационные). Привлечение инициативной молодежи позволит дополнить и развить ряд необходимых компетенций старшего поколения с их последующим применением в профессиональной деятельности.

Детализированная проработка требований к базовым компетенциям ЦЭ позволит усовершенствовать Федеральные государственные образовательные стандарты с учетом инновационных направлений технологического развития. Важную роль в реализации программы «Цифровая экономика РФ» играет переподготовка кадров для ЦЭ. Наш университет на базе Самарского регионального телекоммуникационного тренинг-центра уже сегодня осуществляет профессиональную переподготовку, повышение квалификации и стажировку педагогических работников, реализующих образовательные программы в области информационной безопасности высшего образования и среднего профессионального образования для задач ЦЭ с привлечением специалистов по информационной безопасности и технической защите информации из различных компаний. Это позволит увеличить численность педагогических работников, реализующих образовательные программы в области информационной безопасности высшего образования и среднего профессионального образования для задач ЦЭ, обладающих требуемым уровнем компетенций для решения задач информационной безопасности и технической защиты информации в области ЦЭ.

Все подведомственные вузы Россвязи обладают требуемыми компетенциями компетенциями для реализации программы «Цифровая экономика РФ». В частности, МГУСИ проводит фундаментальные исследования в области обработки информации (системы распределенного реестра, системы больших данных, облачные и туманные вычисления), а также занимается разработкой систем связи для арктической зоны (гетерогенные системы связи различного назначения, системы мониторинга и управления связью на основе виртуализации и прогнозирования). СибГУТИ планирует участие в программе цифровизации систем управления инфраструктурой города (района, региона), а также системы управления образовательным процессом высшей школы — «Информатизация образования». СПбГУТ занимается вопросами разработки общедоступного бесплатного онлайн-сервиса по освоению цифровой грамотности, а также интернет-сервисов

по самооценке гражданами ключевых компетенций цифровой экономики. ПГУТИ планирует создание Центра компетенций ЦЭ, у нас создана первая в России кафедра ЦЭ, издан учебник по ЦЭ. Сотрудники университета неоднократно привлекались к участию в комиссиях по вопросам целесообразности внедрения различных инновационных проектов широкого профиля, а также их коммерциализации. Спектр направлений подготовки, а также дисциплин, преподаваемых в ПГУТИ, полностью соответствует перечню основных направлений развития ЦЭ в России: «Управление инновациями», «Бизнес-информатика», «Инноватика», «Инновационный менеджмент».

Также наш вуз готов принять участие в решении вопросов цифровизации сельского хозяйства, а именно в создании цифровых методов и технических средств для мониторинга полей, составления почвенных карт (с использованием радиолокационного дистанционного зондирования Земли), разработке технологий и технических средств для роботизации сельского хозяйства («умные комбайны» и т.п.) и цифровой платформы управления агропромышленным комплексом.

Уверен, что успешному решению задач в области ЦЭ будет способствовать новая рубрика в нашем журнале: «Технологии цифровой экономики», развитию которой учредители намерены оказывать самое серьезное внимание.

Мишин Дмитрий Викторович, д.т.н., профессор, ректор Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. (8-846) 333-58-56. E-mail: mishin@psati.ru

EMPLOYEES TRAINING FOR THE DIGITAL ECONOMY

Mishin D.V.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: mishin@psati.ru

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.01

Mishin Dmitry Viktorovich, Professor, Rector of Volzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Russia, Samara, L'va Tolstogo str., 23. Tel. (+7-846) 333-58-56. E-mail: mishin@psati.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И СИГНАЛОВ

УДК 519.213

СРАВНЕНИЕ ГИПЕРЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ С ДРУГИМИ МОДЕЛЯМИ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ОПРЕДЕЛЕННЫХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

Коваленко А.И., Смирнов С.В.

Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, РФ

E-mail: smirnov@iccs.ru

Осуществляется сравнение различных моделей положительно определенной случайной величины с моделью гиперэкспоненциального распределения специального вида H_s на основе эмпирических числовых характеристик: математического ожидания и дисперсии. Все распределения рассматриваются с параметрами, при которых они имеют убывающую интенсивность «отказов» (молодеющие распределения) и коэффициент вариации больше единицы. В качестве количественных оценок близости H_s -распределения к остальным моделям рассматриваются равномерная и средняя метрики в пространстве функций распределения. Показана целесообразность замены двухпараметрического распределения гиперэкспоненциальным H_s -распределением в зависимости от закона распределения и величины коэффициента вариации. Приведены оценки эффективности такой аппроксимации для различных наборов параметров и примеры ее применения. Рассчитаны и проанализированы стационарные вероятностные характеристики системы с отказами обслуживающего прибора, где базовое распределение Вейбулла-Гнеденко заменяется на гиперэкспоненциальное распределение специального вида.

Ключевые слова: вычислимость моделей, гиперэкспоненциальное распределение, равномерная метрика, средняя метрика, характеристики систем обслуживания

Введение

При описании случайных величин, характеризующих процессы различной природы в сложных системах, всегда существует проблема построения адекватных и одновременно аналитически или численно-аналитически разрешимых моделей. Под адекватностью понимается, прежде всего, точность соответствия эмпирическим данным, а о разрешимости судят по вычислимости практически полезных результатов моделирования систем.

Хорошей вычислимостью характеризуются марковские модели систем, в которых случайные величины имеют экспоненциальные распределения [1-3]. Однако такие модели часто оказываются недостаточно точными, в частности, в случае учета процессов приработки и/или старения при оценке показателей надежности систем. Одним из примеров моделирования с достаточной степенью обобщения и большой точностью является применение аппарата полумарковских процессов с общим фазовым пространством состояний. Так, в работах [4-5] в аналитическом виде при помощи этого аппарата определены характеристики одноканальных систем с отказами обслуживания, в которых все случайные величины, описывающие работу систем, имеют общий вид распределения.

Данный подход позволяет моделировать системы с учетом последствия. Вместе с тем, трудности разрешимости в аналитическом виде системы интегральных уравнений и сложности вычислительного плана позволяют рассматривать только частные режимы функционирования систем. Еще одним немаловажным фактором является то, что обычно статистически надежно может быть оценено лишь ограниченное количество моментов случайной величины, не говоря уже о законе распределения.

В связи с вышеупомянутыми трудностями, а также с необходимостью моделирования сложных систем с большим количеством возможных состояний (например, сетевых систем управления) возникает необходимость сравнения различных моделей случайной величины по качественным и количественным критериям, которые позволят подобрать модель, учитывающую существенные с точки зрения практики характеристики случайных явлений, и характеризующуюся умеренными вычислительными трудностями применения.

Постановка задачи

Пусть X – наблюдаемая положительно определенная случайная величина с эмпирическими числовыми характеристиками: математическим ожиданием $E^*(X)$ и дисперсией $D^2(X)$. Задачей настоящего исследования является сравнение следующих моделей положительно определенной случайной величины X :

– логарифмически нормального распределения с плотностью

$$f_{ЛН}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где $t \geq 0$, $\sigma > \sqrt{\ln 2}$, $\mu \in (-\infty; \infty)$;

– распределения Вейбулла-Гнеденко с плотностью

$$f_{ВГ}(t) = \frac{\beta}{\Theta} \left(\frac{t}{\Theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\Theta}\right)^\beta}, \quad (2)$$

где $t \geq 0$, $\beta \in (0; 1)$, $\Theta > 0$;

– гамма-распределения с плотностью

$$f_{Г}(t) = \alpha \frac{(\alpha t)^{\nu-1}}{\Gamma(\nu)} e^{-\alpha t}, \quad (3)$$

где $t \geq 0$, $\alpha > 0$, $\nu \in (0; 1)$;

– гиперэкспоненциального распределения специального вида Hs с плотностью

$$f_{ГЭ}(t) = (1-p)\lambda e^{-\lambda t} + p^2 \lambda e^{-p\lambda t}, \quad (4)$$

где $t \geq 0$, $p \in (0, 1)$, $\lambda > 0$.

Гиперэкспоненциальное распределение достаточно хорошо изучено [6-9] и часто применяется при моделировании различного рода систем, в том числе и систем массового обслуживания [10-12].

Модель (4) впервые предложена одним из соавторов данной статьи в [13] как способ аппроксимации двухпараметрических распределений положительно определенных случайных величин. Параметры p и λ распределения (4) однозначно определяются из уравнений для первых двух моментов:

$$E(X) = \frac{(2-p)}{\lambda}, \quad D^2(X) = \frac{(-p^3 + 2p^2 - 2p + 2)}{p\lambda^2},$$

– математического ожидания и дисперсии Hs -распределения.

Распределение Hs замыкает в области $V^*(X) \in (1; \infty)$ однозначную факториза-

цию пространства эмпирических характеристик $E^*(X), D^*(X)$, которую в области $V^*(X) \in (0; 1)$ описывают хорошо известные и широко используемые двухпараметрические гипэрэкспоненциальные распределения Эрланга E_s и E_k [14], в области $V^*(X) = 0$ – вырожденное распределение константы [15], в области $V^*(X) = 1$ – экспоненциальное распределение (см. рисунок 1).

Распределения (2)-(4) характеризуются убывающей интенсивностью «отказов» (молодеющие распределения). При указанных параметрах они имеют коэффициент вариации больше единицы, $V(X) \in (1; \infty)$. Распределение (1) обладает этими свойствами при $t \geq t^*$. Значение t^* является решением трансцендентного уравнения, определяющего точку максимума интенсивности «отказов» логарифмически нормального распределения.

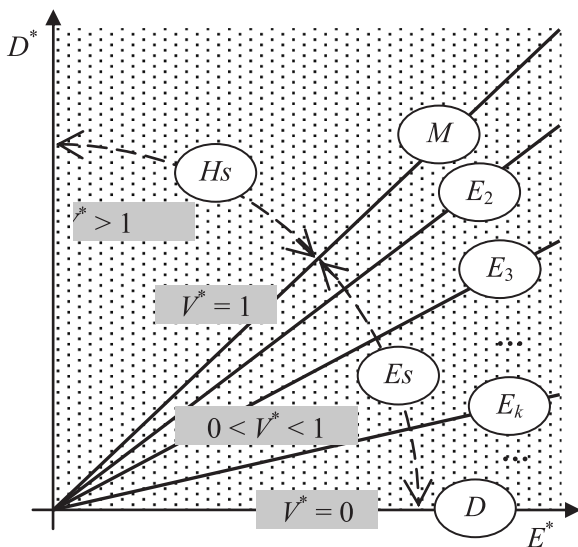


Рисунок 1. Факторизация пространства эмпирических характеристик $\{E^*(X), D^*(X)\}$ экспоненциальным M , гипэрэкспоненциальным H_s , гипэрэкспоненциальным (гипэрэрланговским) E_s и эрланговским распределением порядка $k - E_k$ и вырожденным распределением D

Количественный анализ моделей

В качестве основных количественных оценок близости H_s -распределения к остальным моделям рассматриваются метрики в пространстве функций распределения из [16]:

– равномерная метрика – модуль максимального отклонения функций распределения друг от друга

$$\rho(F_i, F_j) = \sup_{t \geq 0} |F_i(t) - F_j(t)|; \quad (5)$$

– средняя метрика – интеграл модуля отклонения функций распределения друг от друга, имеющий численное значение площади фигуры, заключенной между функциями распределения

$$\zeta(F_i, F_j) = \int_0^{\infty} |F_i(t) - F_j(t)| dt. \quad (6)$$

В таблице 1 приведены количественные оценки близости H_s -распределения к остальным моделям случайной величины для $E^*(X) = 0,5$ при значениях коэффициента вариации $V^*(X)$ из множества $\{1,2; 1,6; 2,0; 2,8; 3,6; 4,4; 5,2; 6,0\}$.

Можно видеть, что с увеличением коэффициента вариации $V^*(X)$ наблюдается рост отклонений по равномерной (5) и средней (6) метрикам. Вид функций $|F_{\text{ЛН}}(t) - F_{\text{ГЭ}}(t)|$, $|F_{\text{ВГ}}(t) - F_{\text{ГЭ}}(t)|$, $|F_{\Gamma}(t) - F_{\text{ГЭ}}(t)|$ при наименьшем и наибольшем из рассматриваемых значениях – $V^*(X) = 1,2$ и $V^*(X) = 6,0$ – приведен на рисунке 2 (здесь по-прежнему $E^*(X) = 0,5$).

Наибольшее отклонение при $V^*(X) = 1,2$ (и в целом при малых коэффициентах вариации) наблюдается для логнормального распределения, при $V^*(X) = 6,0$ и больших дисперсиях – для гамма-распределения.

Распределение Вейбулла-Гнеденко в первом случае является самым близким к гипэрэкспоненциальному, во втором – занимает промежуточное положение.

При $V^*(X) > 6,0$ это соотношение распределений сохраняется. Все указанные тенденции в целом сохраняются при увеличении математического ожидания случайной величины. Самые большие отклонения функций распределения наблюдаются для малых значений аргумента. Это служит положительным фактором для гипэрэкспоненциальной аппроксимации, поскольку на практике при расчетах часто функция распределения умножается на плотность функции восстановления для подсчета числа событий за данный промежуток времени.

В таком случае наибольшее отклонение функции распределения компенсируется, так как плотность функции восстановления по определению равна нулю. Такой эффект наблюдается в примере расчета характеристик системы обслуживания в следующем разделе.

Пример расчета характеристик системы обслуживания $M/G/1/0$ с отказами

Рассмотрим пример расчета стационарных вероятностных характеристик системы $M/G/1/0$ с отказами обслуживающего прибора. Система

функционирует следующим образом. Если обслуживаемый прибор свободен, то поступившая в систему заявка начинает обслуживаться, в противном случае заявка теряется. После достижения прибором суммарной наработки, реализуемой как случайная величина общего вида,

происходит его отказ, и сразу же начинается восстановление прибора. При этом обслуживаемая заявка, а также заявки, поступающие в систему во время восстановления прибора, теряются.

Базовым распределением наработки на отказ обслуживаемого прибора является распределе-

Таблица 1. Количественные оценки аппроксимации Hs -распределением при $E^*(X)=0,5$

	Логарифмически нормальное распределение	Распределение Вейбулла-Гнеденко	Гамма-распределение	Hs
$V^*(X)=1,2$	$\mu = -1,139,$ $\sigma = 0,945,$ $t^* = 0,228$	$\Theta = 0,455,$ $\beta = 0,838$	$\alpha = 1,389,$ $\nu = 0,695$	$p = 0,393,$ $\lambda = 3,214$
$\rho(F_i, F_j)$	0,105	0,033	0,055	
$\zeta(F_i, F_j)$	0,054	0,018	0,030	
$V^*(X)=1,6$	$\mu = -1,328,$ $\sigma = 1,127,$ $t^* = 0,117$	$\Theta = 0,365,$ $\beta = 0,648$	$\alpha = 0,781,$ $\nu = 0,391$	$p = 0,202,$ $\lambda = 3,597$
$\rho(F_i, F_j)$	0,070	0,103	0,176	
$\zeta(F_i, F_j)$	0,050	0,057	0,088	
$V^*(X)=2,0$	$\mu = -1,498,$ $\sigma = 1,269,$ $t^* = 0,065$	$\Theta = 0,288,$ $\beta = 0,543$	$\alpha = 0,500,$ $\nu = 0,250$	$p = 0,127,$ $\lambda = 3,747$
$\rho(F_i, F_j)$	0,38	0,168	0,291	
$\zeta(F_i, F_j)$	0,066	0,094	0,141	
$V^*(X)=2,8$	$\mu = -1,783,$ $\sigma = 1,476,$ $t^* = 0,025$	$\Theta = 0,181,$ $\beta = 0,430$	$\alpha = 0,255,$ $\nu = 0,128$	$p = 0,064,$ $\lambda = 3,872$
$\rho(F_i, F_j)$	0,061	0,278	0,472	
$\zeta(F_i, F_j)$	0,118	0,126	0,225	
$V^*(X)=3,6$	$\mu = -2,011,$ $\sigma = 1,624,$ $t^* = 0,012$	$\Theta = 0,119,$ $\beta = 0,370$	$\alpha = 0,077,$ $\nu = 0,154$	$p = 0,039,$ $\lambda = 3,923$
$\rho(F_i, F_j)$	0,117	0,348	0,597	
$\zeta(F_i, F_j)$	0,166	0,205	0,285	
$V^*(X)=4,4$	$\mu = -2,200,$ $\sigma = 1,736,$ $t^* = 0,007$	$\Theta = 0,082,$ $\beta = 0,332$	$\alpha = 0,103,$ $\nu = 0,052$	$p = 0,026,$ $\lambda = 3,948$
$\rho(F_i, F_j)$	0,162	0,404	0,683	
$\zeta(F_i, F_j)$	0,204	0,243	0,328	
$V^*(X)=5,2$	$\mu = -2,360,$ $\sigma = 1,826,$ $t^* = 0,004$	$\Theta = 0,059,$ $\beta = 0,306$	$\alpha = 0,074,$ $\nu = 0,037$	$p = 0,019,$ $\lambda = 3,963$
$\rho(F_i, F_j)$	0,197	0,448	0,745	
$\zeta(F_i, F_j)$	0,236	0,275	0,361	
$V^*(X)=6,0$	$\mu = -2,499,$ $\sigma = 1,900,$ $t^* = 0,003$	$\Theta = 0,043,$ $\beta = 0,286$	$\alpha = 0,028,$ $\nu = 0,056$	$p = 0,064,$ $\lambda = 3,872$
$\rho(F_i, F_j)$	0,227	0,483	0,788	
$\zeta(F_i, F_j)$	0,262	0,301	0,385	

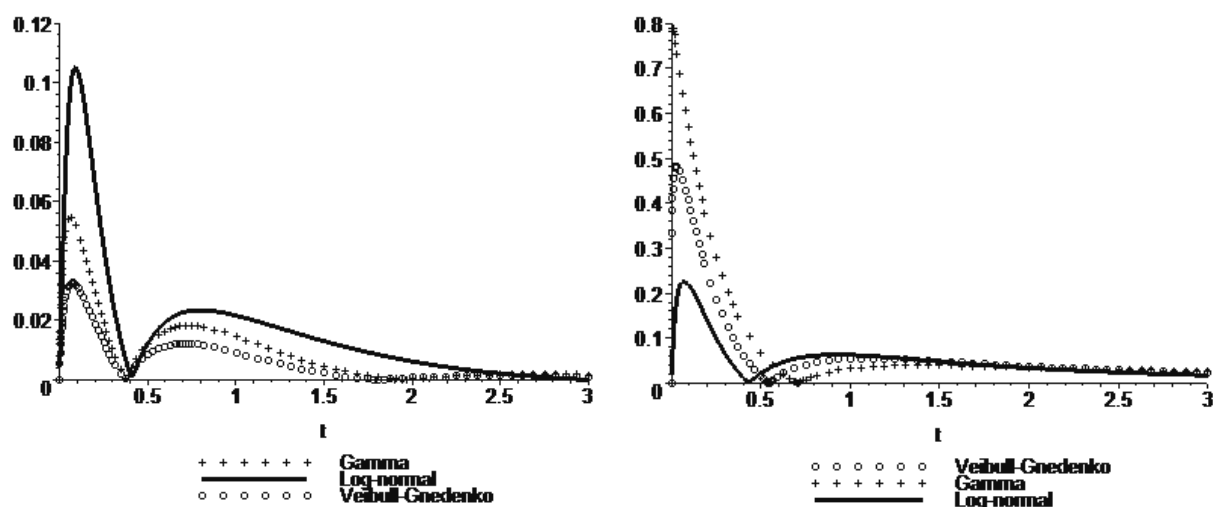


Рисунок 2. Количественные оценки аппроксимации распределений случайных величин Hs -распределением. Вид функций $|F_{Hs}(t) - F_{\Gamma}(t)|$, $|F_{BG}(t) - F_{\Gamma}(t)|$, $|F_{\Gamma}(t) - F_{\Gamma}(t)|$ при $V^*(X)=1,2$ и $V^*(X)=6,0$.

ние Вейбулла-Гнеденко. Исследуется его замена гиперэкспоненциальным распределением с помощью расчетных формул, полученных в [17] для общего вида случайных величин.

Исследовалась система обслуживания, в которой среднее время между поступлением заявок – 1 час; время обслуживания распределено по закону Эрланга 3-го порядка со средним значением 1,5 часа; наработка на отказ – случайная величина γ с распределением Вейбулла-Гнеденко и средним 4 часа. В таблице 2 приведено сравнение расчетов характеристик надежности системы с распределением наработки по законам Вейбулла-Гнеденко и Hs .

Определяемые характеристики системы – величины стационарных показателей функци-

онирования p_0 , p_1 , p_2 – финальные вероятности пребывания обслуживающего прибора в свободном состоянии, в состоянии обслуживания заявки и в состоянии аварийного восстановления соответственно, а также среднее стационарное время T_1 пребывания системы в работоспособном состоянии. Соответствующие величины при аппроксимации наработки на отказ Hs -распределением обозначены в таблице 2 как p_0^* , p_1^* , p_2^* , T_1^* . Превышение абсолютной погрешности вычислений при аппроксимации для показателя среднего стационарного времени T_1 пребывания системы в работоспособном состоянии не превышает 5%, для остальных характеристик надежности – 2%.

Таблица 2. Количественная оценка аппроксимации характеристик системы $M/G/1/0$ Hs -распределением при $M^*(\gamma)=0,5$; $V^*(\gamma) \in [1,2; 6]$

$V^*(\gamma)$	p_0	p_0^*	p_1	p_1^*	p_2	p_2^*	T_1	T_1^*
1,2	0,56244	0,56180	0,24309	0,24345	0,19447	0,19476	0,43220	0,43333
1,6	0,56728	0,56521	0,24040	0,24155	0,19232	0,19324	0,42378	0,42737
2,0	0,57089	0,56733	0,23840	0,24037	0,19072	0,19230	0,41759	0,42369
2,8	0,57577	0,56959	0,23568	0,23912	0,18855	0,19130	0,40936	0,41981
3,6	0,57890	0,57065	0,23395	0,23853	0,18716	0,19082	0,40412	0,41799
4,4	0,58108	0,57123	0,23273	0,23821	0,18619	0,19057	0,40052	0,41701
5,2	0,58269	0,57157	0,23184	0,23802	0,18547	0,19041	0,39787	0,41643
6,0	0,58394	0,57179	0,23114	0,23790	0,18492	0,19032	0,39583	0,41605

Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о пригодности гиперэкспоненциального распределения H_s (4) для моделирования положительно определенных случайных величин с большим коэффициентом вариации. Анализ количественных критериев показал, что при значениях коэффициента вариации, больших единицы, H_s -распределение в разной степени «близко» к широко известным моделям.

Согласно рассмотренным критериям, наилучшими аппроксимационными свойствами при малых (то есть мало превышающих единицу) коэффициентах вариации H_s -распределение обладает по отношению к распределению Вейбулла-Гнеденко, при больших – к логонормальному распределению. Гамма-распределение хорошо аппроксимируется при малых значениях коэффициента вариации, но значительно хуже – при больших. Точность аппроксимации логнормального распределения и распределения Вейбулла-Гнеденко менее подвержены влиянию дисперсионных свойств. Однако в целом чем больше коэффициент вариации, тем больше следует подвергать проверке возможность описания наблюдаемой случайной величины гиперэкспоненциальным распределением.

Если при расчетах функция распределения умножается на плотность функции восстановления для подсчета числа событий за данный промежуток времени, погрешность аппроксимации будет уменьшаться. Важно подчеркнуть, что использование гиперэкспоненциального распределения значительно упрощает аналитическое моделирование сложных систем за счет расщепления состояний на фазы, длительности пребывания в которых имеют экспоненциальные распределения.

Литература

1. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: КНОРУС, 2013. – 448 с.
2. Бобков С.П., Бытев Д.О. Моделирование систем. – Иваново: Изд. ИвГХТУ, 2008. – 156 с.
3. Ремицкая А.Я., Суслина И.А. Марковские процессы и простейшие модели теории массового обслуживания. Компьютерное моделирование простейших моделей массового обслуживания // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2007. – №38. – С. 239-248.
4. Корлат А.Н., Кузнецов В.Н., Новиков М.И., Турбин А.Ф. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания. – Кишинев: Штиинца, 1991. – 209 с.
5. Коваленко А.И. Системный анализ и много-критериальная оптимизация процессов профилактического восстановления в системах с отказами каналов обслуживания. Автореф. дис. к.т.н. – Самара, СамГТУ, 2017. – 20 с.
6. Manal M. Nassar A note on some characterizations of the hyperexponential distribution. // Springer-Verlag, Statistical Papers. – 2005. – No. 46. – P. 281-292. DOI: 10.1007/BF02762972.
7. Bladt M., Nielsen B.F. Matrix-Exponential Distributions in Applied Probability // Springer Science + Business Media LLC, Probability Theory and Stochastic Modelling. – 2017. – 749 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-7049-0.
8. Baltzer J.C. Approximating probability densities on the positive half-line // Scientific Publishing Company, Queueing Systems. – 1989. – No. 4. – P. 115-136. DOI: 10.1007/BF01158548.
9. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами. – СПб: Питер, 2001. – 384 с.
10. Tarasov V.N. Analysis of Queues with Hyperexponential Arrival Distributions // Pleiades Publishing Inc., Problems of Information Transmission. – 2016. – Vol. 52. – No. 1. – P. 16–26. DOI: 10.1134/S0032946016010038.
11. Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф., Ахметшина Э.Г. Модели телетрафика на основе современной теории массового обслуживания // «Инфокоммуникационные технологии». – 2018. – Том 16. – №1. – С. 68-74. DOI: 10.18469/ikt.2018.16.1.07.
12. Рыжиков Ю.И., Уланов А.В. Применение гиперэкспоненциальной аппроксимации в задачах расчета немарковских систем массового обслуживания // Вестник ТГУ. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – №3. – С. 60-65.
13. Смирнов С.В. Моделирование «сверхнерегулярных» случайных величин по экспериментальным данным // Автоматизация научных исследований: Межвуз. сб. научн. трудов. – Куйбышев: КуАИ, 1988. – С. 52-57.
14. Тараканов К.В., Овчаров Л.А., Тырышкин А.Н. Аналитические методы исследования систем. – М.: Сов. радио, 1974. – 240 с.
15. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1984. – 832 с.
16. Калашников В.В. Количественные оценки в теории надежности. – М.: Знание, 1989. – 48 с.

17. Песчанский А.И., Коваленко А.И. Стационарные характеристики однолинейной системы обслуживания с потерями и ненадежным прибором // Таврический вест-

ник информатики и математики. – 2013. – №1(22). – С. 69-79.

Получено 20.12.2018

Коваленко Анна Игоревна, к.т.н., с.н.с. Института проблем управления сложными системами (ИПУСС) РАН. Тел. (8-846) 333-26-77. E-mail: annushka199@bk.ru

Смирнов Сергей Викторович, д.т.н., г.н.с. ИПУСС РАН. Тел. (8-846) 333-27-70. E-mail: smirnov@iccs.ru

COMPARISON OF HYPEREXPONENTIAL DISTRIBUTION AND OTHER MODELS FOR POSITIVELY DEFINED RANDOM VARIABLES

Kovalenko A.I., Smirnov S.V.

*Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences,
Samara, Russian Federation*

E-mail: smirnov@iccs.ru

Due to the necessity of creating complex system models with a large number of possible states (for example, network-centric control systems), there is a need for qualitative and quantitative selection of a model that takes into account essential characteristics of random phenomena from the practical standpoint and is characterized by moderate computational difficulties in application.

In the article we compare various models of positively defined random variable with hyper exponential distribution of special Hs-type based on empirical numerical characteristics: expectation and variance. We study the log-normal, gamma, and Weibull-Gnedenko distributions. All these distributions are examined under the parameters providing a decreasing intensity of “failures” and the coefficient of variation being greater than one. The uniform and average metrics are considered in the space of distribution functions as quantitative estimates of the proximity of the Hs-distribution to the rest of the models. The possibility of replacing two-parameter distributions of a positively defined random variable by the hyperexponential Hs-distribution of a special type is shown. Estimates of the effectiveness of such an approximation for various sets of parameters and examples of its application are given. An example of calculating the stationary probability characteristics of a system with server failures is considered, where the basic Weibull-Gnedenko distribution is replaced by the hyperexponential distribution of a special type.

According to the criteria considered, for small coefficients of variation Hs-distribution has the best approximation properties in relation to the Weibull-Gnedenko distribution, for large ones - to the log-normal distribution. In general, the larger the coefficient of variation is, the more precisely the possibility of describing the observed random variable by the hyperexponential distribution should be tested. But in case of such approximation admissibility, the use of the hyperexponential distribution greatly simplifies the analytical modeling of complex systems due to the splitting of states into phases, the sojourn time having exponential distributions.

Keywords: *model calculability, hyperexponential distribution, uniform metric, mean metric, queueing systems' characteristics*

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.02

Kovalenko Anna Igorevna, Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences; 61 Sadovaya Str., Samara, 443020, Russian Federation; PhD in Technical Sciences, Senior Researcher. Tel. +78463332677. E-mail: annushka199@bk.ru

Smirnov Sergey Viktorovich, Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences; 61 Sadovaya Str., Samara, 443020, Russian Federation; Doctor of Technical Science, Chief Researcher. Tel. +78463332770. E-mail: smirnov@iccs.ru

References

1. Ventsel' Ye.S., Ovcharov L.A. *Teoriya sluchainykh protsessov i yeye inzhenernyye prilozheniya: uchebnoye posobiye* [Theory of random processes and its engineering applications: tutorial]. Moscow, KNORUS Publ., 2013. 448 p.
2. Bobkov S.P, Bytev D.O. *Modelirovaniye sistem* [System modeling]. Ivanovo, Ivan. gos. him-technol. univ Publ., 2008. 156 p.
3. Remitskaya A.Ya., Suslina I.A. Markovskiye protsessy I prosteishyye modeli teorii massovogo obsluzhyvaniya. Komp'yuternoye modelirovaniye prosteishykh modeley massovogo obsluzhyvaniya [Markovian processes and elementary models of the queueing theory. Computer modelling of elementary models of the queueing theory]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mehaniki i optiki*, 2007, no. 38, pp. 239-248.
4. Korlat A.N., Kuznetsov B.N., Novikov M.I., Turbin A.F. *Polumarkovskiye modeli vosstanavlivayemykh sistem i system massovogo obsluzhyvaniya* [Semi-Markov models of restorable and queueing systems]. Kishinev, Shtiintsa Publ., 1991, 209 p. (In Russian)
5. Kovalenko A.I. *Sistemnyi analiz i mnogokriterial'naya optimizatsiya protsessov profilacti-cheskogo vosstanovleniya v sistemah s otkazami kanalov obsluzhyvaniya*. Diss. dokt. tekhn. nauk [System analysis and multicriterial optimization of maintenance processes in systems with server failures. Doct. Diss.] Samara, 2017. 168 p.
6. Manal M. Nassar. A note on some characterizations of the hyperexponential distribution. *Statistical Papers*, 2005, no. 46, pp. 281-292. DOI: 10.1007/BF02762972.
7. Bladt M., Nielsen B.F. *Matrix-Exponential Distributions in Applied Probability*. Springer Science+Business Media LLC, Probability Theory and Stochastic Modelling, 2017. 749 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-7049-0.
8. Baltzer J.C. Approximating probability densities on the positive half-line. *Queueing Systems*, 1989, no. 4, pp. 115-136. DOI: 10.1007/BF01158548.
9. Ryzhikov Yu.I. *Teoriya ocheredei i upravleniye zapasami* [Queueing theory and inventory management]. St. Petersburg: Piter, 2001. 384 p.
10. Tarasov V.N. Analysis of Queues with Hyperexponential Arrival Distributions. *Problems of Information Transmission*, 2016, vol. 52, no. 1, pp. 16-26. DOI: 10.1134/S0032946016010038.
11. Tarasov V.N., Bahareva N.F., Ahmetshyna E.G. Modeli teletrafika na osnove sovremennoy teorii massovogo obsluzhyvaniya [Teletraffic models based on the modern queueing theory]. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii*, 2018, vol. 16, no. 1, pp. 68-74. DOI: 10.18469/ikt.2018.16.1.07.
12. Ryzhikov Ju.I. Primeneniye giperekspontentsyal'noy approksimatsii v zadachah rascheta nemarkovskikh system massovogo obsluzhyvaniya [Application of hyper exponential approximation in problems of non-Markov queueing systems]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravleniye, vychislitel'naya tekhnika i informatika*, 2016, no. 3, pp. 60-65.
13. Smirnov S.V. Modelirovaniye "sverkhneregulyarnykh" sluchainykh velichin po eksperimental'nykh dannyyh [Modelling of "extremely non-regular" random values using experimental data]. *Avtomatizatsiya nauchnykh issledovaniy: Mezhevuz. sb. nauchn. trudov*. Kuybyshev, KuAI, 1988, pp. 52-57.
14. Tarakanov K.V., Ovcharov L.A., Tyryshkin A.N. *Analiticheskiye metody issledovaniya sistem* [Analytical methods of system study]. Moscow, Soviet radio Publ., 1974. 240 p.
15. Korn G. *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov* [Manual for scientists and engineers]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 832 p.
16. Kalashnikov V.V. *Kolichestvennyye otsenki v teorii nadezhnosti* [Quantitative evaluations in reliability theory]. Moscow, Znaniye Publ., 1989. 48 p.
17. Peschansky A.I., Kovalenko A.I. Statsionarnyye kharakteristiki odnolineinoi sistemy obsluzhyvaniya s poteryami i nenadezhnym priborom [Stationary characteristics of a single-server loss queueing system with unreliable server]. *Tavricheskiiy vestnik informatiki i matematiki*, 2013, no. 22, pp. 69-79.

Received 20.12.2018

СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ HE₂/HE₂/1

Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф., Када Отхмане

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: tarasov-vn@psuti.ru

Статья посвящена теоретическому анализу системы массового обслуживания HE₂/HE₂/1 типа G/G/1 с гиперэрланговскими входными распределениями второго порядка. Ставится задача получения решения для среднего времени ожидания требований в очереди. Для этого использованы метод спектрального разложения решения интегрального уравнения Линдли и метод моментов. Показано, что гиперэрланговский закон распределения HE₂ и гиперэкспоненциальный H₂ могут определяться как двумя, так и тремя первыми моментами. Предложен механизм аппроксимации гиперэрланговским законом произвольных распределений с помощью метода моментов. Выбор такого закона распределения вероятностей обусловлен тем, что его коэффициент вариации больше $1/\sqrt{2}$, и охватывает более широкий диапазон, чем у гиперэкспоненциального закона распределения, для которого коэффициент вариации больше единицы. Метод спектрального разложения решения интегрального уравнения Линдли для системы массового обслуживания HE₂/HE₂/1 позволяет получить результат в замкнутой форме. Полученная формула для среднего времени ожидания для системы HE₂/HE₂/1 дополняет и расширяет известную формулу для среднего времени ожидания в системе с произвольными законами распределений интервалов входного потока и времени обслуживания G/G/1.

Ключевые слова: система массового обслуживания HE₂/HE₂/1, среднее время ожидания в очереди, метод спектрального разложения, интегральное уравнение Линдли, преобразование Лапласа

Введение

Статья посвящена исследованию системы массового обслуживания (СМО) HE₂/HE₂/1 типа G/G/1 с гиперэрланговскими входными распределениями второго порядка. В теории массового обслуживания исследования систем G/G/1 особо актуальны в связи с тем, что до сих пор не существует решения в конечном виде для общего случая.

Начнем с определения гиперэрланговского закона распределения. Распределение с плотностью $f(t) = \sum_{i=1}^R \alpha_i \frac{k_i \lambda_i (k_i \lambda_i t)^{k_i-1}}{(k_i-1)!} e^{-k_i \lambda_i t}$, где $t \geq 0$, $\sum_{i=1}^R \alpha_i = 1$, называют гиперэрланговским порядка R и обозначают HE_R [1-2]. Гиперэрланговское распределение представляет собой вероятностную смесь нормированных распределений Эрланга порядка k с функцией плотности вида $f_k(t) = \frac{k \lambda (k \lambda t)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-k \lambda t}$ и является наиболее общим распределением неотрицательных непрерывных случайных величин, поскольку имеет коэффициент вариации c_τ в интервале от 0 до ∞ [3].

Ограничимся гиперэрланговскими входными распределениями 2-го порядка с функцией плотности $f(t) = 4p \lambda_1^2 t e^{-2\lambda_1 t} + 4(1-p) \lambda_2^2 t e^{-2\lambda_2 t}$. Ниже будет показано, что коэффициент вариации для такого распределения $c_\tau > 1/\sqrt{2}$. Это распределение в литературе обозначают как HE₂. Оно содержит три параметра ($0 < p < 1$, $\lambda_1, \lambda_2 > 0$) и таким образом позволяет аппроксимировать произвольные входные распределения

на уровне трех первых моментов с использованием известного метода моментов. Ниже будет показано, что распределение HE₂, как и гиперэкспоненциальное H₂, может определяться как двумя, так и тремя первыми моментами.

В статье ставится задача нахождения решения для времени ожидания требований в очереди в СМО HE₂/HE₂/1 и построения механизма аппроксимации произвольных законов распределений гиперэрланговским.

Вывод решения для системы HE₂/HE₂/1

В СМО HE₂/HE₂/1 интервалы между соседними требованиями входного потока распределены по закону:

$$a(t) = 4p \lambda_1^2 t e^{-2\lambda_1 t} + 4(1-p) \lambda_2^2 t e^{-2\lambda_2 t}, \quad (1)$$

а время обслуживания –

$$b(t) = 4q \mu_1^2 t e^{-2\mu_1 t} + 4(1-q) \mu_2^2 t e^{-2\mu_2 t}. \quad (2)$$

Преобразование Лапласа (1) имеет вид:

$$A^*(s) = p \left(\frac{2\lambda_1}{s + 2\lambda_1} \right)^2 + (1-p) \left(\frac{2\lambda_2}{s + 2\lambda_2} \right)^2, \quad (3)$$

а функции (2) –

$$B^*(s) = q \left(\frac{2\mu_1}{s + 2\mu_1} \right)^2 + (1-q) \left(\frac{2\mu_2}{s + 2\mu_2} \right)^2. \quad (4)$$

Перейдем к определению спектрального разложения решения интегрального уравнения

Линдли (ИУЛ) в виде отношения двух рациональных функций $A^*(-s) \cdot B^*(s) - 1 = \Psi_+(s)/\Psi_-(s)$ в случае распределений (1)-(2) с учетом преобразований Лапласа (3)-(4), где сами функции $\Psi_+(s)$ и $\Psi_-(s)$ в отдельности могут быть определены только после получения полного разложения. Получим следующее выражение для отношения:

$$\frac{\Psi_+(s)}{\Psi_-(s)} = \left[p \left(\frac{2\lambda_1}{2\lambda_1 - s} \right)^2 + (1-p) \left(\frac{2\lambda_2}{2\lambda_2 - s} \right)^2 \right] \times \left[q \left(\frac{2\mu_1}{2\mu_1 + s} \right)^2 + (1-q) \left(\frac{2\mu_2}{2\mu_2 + s} \right)^2 \right] - 1.$$

Первый сомножитель в правой части в квадратных скобках представим в виде:

$$\left[p \left(\frac{2\lambda_1}{2\lambda_1 - s} \right)^2 + (1-p) \left(\frac{2\lambda_2}{2\lambda_2 - s} \right)^2 \right] = \frac{a_0 - a_1s + a_2s^2}{(2\lambda_1 - s)^2 (2\lambda_2 - s)^2},$$

где $a_0 = 16\lambda_1^2\lambda_2^2$; $a_1 = 16\lambda_1\lambda_2[p\lambda_1 + (1-p)\lambda_2]$; $a_2 = 4[p\lambda_1^2 + (1-p)\lambda_2^2]$. Аналогично представим второй сомножитель:

$$\left[q \left(\frac{2\mu_1}{2\mu_1 + s} \right)^2 + (1-q) \left(\frac{2\mu_2}{2\mu_2 + s} \right)^2 \right] = \frac{b_0 + b_1s + b_2s^2}{(2\mu_1 - s)^2 (2\mu_2 - s)^2},$$

где $b_0 = 16\mu_1^2\mu_2^2$, $b_1 = 16\mu_1\mu_2[q\mu_1 + (1-q)\mu_2]$, $b_2 = 4[q\mu_1^2 + (1-q)\mu_2^2]$. Тогда искомое выражение для спектрального разложения будет иметь вид:

$$\frac{\Psi_+(s)}{\Psi_-(s)} = \frac{(a_0 - a_1s + a_2s^2)(b_0 + b_1s + b_2s^2)}{(2\lambda_1 - s)^2 (2\lambda_2 - s)^2 (2\mu_1 + s)^2 (2\mu_2 + s)^2} - \frac{(2\lambda_1 - s)^2 (2\lambda_2 - s)^2 (2\mu_1 + s)^2 (2\mu_2 + s)^2}{(2\lambda_1 - s)^2 (2\lambda_2 - s)^2 (2\mu_1 + s)^2 (2\mu_2 + s)^2}. \quad (5)$$

Многочлен в числителе в правой части такого разложения (5) как правило всегда имеет один нуль $s = 0$ [1]. В данном случае свободный член разложения также равен нулю:

$$a_0b_0 - 256\lambda_1^2\lambda_2^2\mu_1^2\mu_2^2 \equiv 0.$$

В числителе дроби в правой части разложения (5) получили многочлен 8-й степени

$-s(s^7 - c_6s^6 - c_5s^5 - c_4s^4 - c_3s^3 - c_2s^2 - c_1s - c_0)$, коэффициенты которого равны:

$$c_0 = a_0b_0 - a_1b_0 - 256\lambda_1\lambda_2\mu_1\mu_2[\lambda_1\lambda_2(\mu_1 + \mu_2) - \mu_1\mu_2(\lambda_1 + \lambda_2)],$$

$$c_1 = a_0b_2 - a_1b_1 + a_2b_0 - 64[\lambda_1^2\lambda_2^2(\mu_1^2 + \mu_2^2) + \mu_1^2\mu_2^2(\lambda_1^2 + \lambda_2^2)] - 256\lambda_1\lambda_2\mu_1\mu_2(\lambda_1\lambda_2 - \lambda_1\mu_1 - \lambda_1\mu_2 - \lambda_2\mu_1 - \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2),$$

$$c_2 = a_2b_1 - a_1b_2 - 64\{\lambda_1^2\lambda_2^2 + \mu_1\mu_2(\lambda_1^2 + \lambda_2^2)\} \times (\mu_1 + \mu_2) - (\lambda_1^2\lambda_2 + \lambda_1\lambda_2^2)(\mu_1^2 + \mu_2^2) + \mu_1^2\mu_2^2 \times (\lambda_1 + \lambda_2)] + 256\lambda_1\lambda_2\mu_1\mu_2(\lambda_1 + \lambda_2 - \mu_1 - \mu_2), \quad (6)$$

$$c_3 = a_2b_2 - 16[\lambda_1^2\lambda_2^2 + \mu_1^2\mu_2^2 + (\lambda_1^2 + \lambda_2^2)(\mu_1^2 + \mu_2^2)] + 64[(\lambda_1 + \lambda_2)(\mu_1 + \mu_2)(\lambda_1\lambda_2 + \mu_1\mu_2) - \lambda_1\lambda_2 \times (\mu_1^2 + \mu_2^2) - \mu_1\mu_2(\lambda_1^2 + \lambda_2^2) - 4\lambda_1\lambda_2\mu_1\mu_2],$$

$$c_4 = 16[(\lambda_1 + \lambda_2)(\lambda_1\lambda_2 + 4\mu_1\mu_2) - (\mu_1 + \mu_2) \times (\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + 4\lambda_1\lambda_2 + \mu_1\mu_2) + (\lambda_1 + \lambda_2)(\mu_1^2 + \mu_2^2)],$$

$$c_5 = 16[(\lambda_1 + \lambda_2)(\mu_1 + \mu_2) - \lambda_1\lambda_2 - \mu_1\mu_2 - 4(\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \mu_1^2 + \mu_2^2)],$$

$$c_6 = 4(\lambda_1 + \lambda_2 - \mu_1 - \mu_2).$$

Данные коэффициенты получены с помощью выполнения трудоемких символьных операций математического пакета Mathcad над числителем разложения (5), так как числитель разложения включает 90 слагаемых и вручную привести подобные члены после раскрытия скобок проблематично. Видимо поэтому в литературе, включая web-ресурсы, нет упоминаний о такой системе. Выделим многочлен в числителе (5):

$$s^7 - c_6s^6 - c_5s^5 - c_4s^4 - c_3s^3 - c_2s^2 - c_1s - c_0, \quad (7)$$

так как определение его корней и работа с ними является важным моментом метода спектрального разложения решения ИУЛ.

Исследование многочлена (7) с коэффициентами (6) с использованием формул Виета подтверждает наличие четырех отрицательных действительных корней либо двух отрицательных действительных корней и двух комплексно-сопряженных корней с отрицательными вещественными частями, а также трех положительных действительных корней либо одного положительного и двух комплексно сопряженных корней с положительными вещественными частями.

Исследование знака младшего коэффициента c_0 многочлена (7) показывает, что $c_0 > 0$. С уче-

том знака минус в многочлене перед коэффициентом c_0 формулы Виета не противоречат факту наличия четырех отрицательных корней у многочлена (7). В общем случае, наличие таких корней следует из существования и единственности спектрального разложения [1] или же факторизации [4].

Обозначив корни многочлена (7) с отрицательными вещественными частями для удобства через $-s_1, -s_2, -s_3, -s_4$, а с положительными вещественными частями через s_5, s_6, s_7 , отношение $\psi_+(s)/\psi_-(s)$ окончательно можно разложить на следующие множители:

$$\frac{\psi_+(s)}{\psi_-(s)} = \frac{-s(s+s_1)(s+s_2)(s+s_3)(s+s_4)(s-s_5)(s-s_6)(s-s_7)}{(2\lambda_1-s)^2(2\lambda_2-s)^2(2\mu_1+s)^2(2\mu_2+s)^2}. \quad (8)$$

Тогда с учетом условий, налагаемых на функции $\psi_+(s)$ и $\psi_-(s)$, за функцию $\psi_+(s)$ примем $\psi_+(s) = \frac{s(s+s_1)(s+s_2)(s+s_3)(s+s_4)}{(s+2\mu_1)^2(s+2\mu_2)^2}$, так

как нули многочлена (7): $s=0, -s_1, -s_2, -s_3, -s_4$, и полюсы $s=-2\mu_1, s=-2\mu_2$ лежат в области $\text{Re}(s) \leq 0$. За функцию $\psi_-(s)$ примем $\psi_-(s) = \frac{-(2\lambda_1-s)^2(2\lambda_2-s)^2}{(s-s_5)(s-s_6)(s-s_7)}$. Таким образом,

построенные функции $\psi_+(s)$ и $\psi_-(s)$ удовлетворяют всем условиям метода спектрального разложения.

Далее по методике спектрального разложения определим постоянную

$$K = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{\psi_+(s)}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s(s+s_1)(s+s_2)(s+s_3)(s+s_4)}{(s+2\mu_1)^2(s+2\mu_2)^2} = \frac{s_1 s_2 s_3 s_4}{16\mu_1^2 \mu_2^2},$$

которая физически определяет вероятность того, что поступающее в систему требование застанет ее свободной.

Функция $\psi_+(s)$ позволяет найти преобразование Лапласа функции распределения вероятностей времени ожидания $W(y)$:

$$\Phi_+(s) = \frac{K}{\psi_+(s)} = \frac{s_1 s_2 s_3 s_4 (s+2\mu_1)^2 (s+2\mu_2)^2}{16\mu_1^2 \mu_2^2 s (s+s_1)(s+s_2)(s+s_3)(s+s_4)}.$$

Тогда преобразованием Лапласа для функции плотности времени ожидания будет функция $s \cdot \Phi_+(s)$, то есть

$$W^*(s) = \frac{s_1 s_2 s_3 s_4 (s+2\mu_1)^2 (s+2\mu_2)^2}{16\mu_1^2 \mu_2^2 (s+s_1)(s+s_2)(s+s_3)(s+s_4)}. \quad (9)$$

Среднее время ожидания в очереди равно значению производной от преобразования Лапласа (11) функции плотности со знаком минус в точке $s=0$:

$$-\left. \frac{dW^*(s)}{ds} \right|_{s=0} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_3} + \frac{1}{s_4} - \frac{1}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_2}.$$

Окончательно среднее время ожидания в очереди для СМО HE₂/HE₂/1:

$$\bar{W} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_3} + \frac{1}{s_4} - \frac{1}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_2}. \quad (10)$$

Из выражения (9) также можно определить дисперсию времени ожидания. Вторая производная от преобразования (9) в точке $s=0$ дает второй начальный момент времени ожидания, что позволяет определить дисперсию времени ожидания. Учитывая определение джиттера в телекоммуникациях как разброс времени ожидания [8], тем самым получим возможность его определения через дисперсию. Этот результат является важным для анализа трафика, чувствительного к задержкам.

Аппроксимация законов распределения на уровне двух первых моментов

Воспользуемся свойством преобразования Лапласа воспроизведения моментов и запишем начальные моменты до второго порядка для распределения (1):

$$\bar{\tau}_\lambda = \frac{p}{\lambda_1} + \frac{(1-p)}{\lambda_2}; \quad (11)$$

$$\bar{\tau}_\lambda^2 = \frac{3}{2} \left[\frac{p}{\lambda_1^2} + \frac{(1-p)}{\lambda_2^2} \right]. \quad (12)$$

Рассматривая равенства (11)-(12) как запись метода моментов, найдем неизвестные параметры распределения (1) λ_1, λ_2, p . Система уравнений (11)-(12) при этом является недоопределенной, поэтому к ней добавим выражение для квадрата коэффициента вариации

$$c^2 = \frac{\bar{\tau}_\lambda^2 - (\bar{\tau}_\lambda)^2}{(\bar{\tau}_\lambda)^2}, \quad (13)$$

как связующее условие между (11) и (12). Кроме того, коэффициент вариации будем использовать в расчетах в качестве входного параметра системы. Исходя из вида уравнения (11) положим

$$\lambda_1 = 2p/\bar{\tau}_\lambda, \lambda_2 = 2(1-p)/\bar{\tau}_\lambda \quad (14)$$

и потребуем выполнения условия (13). Подставив выражения (11)-(12) и частное решение (14) в (13) и решив квадратное уравнение относительно параметра p , выберем одно нужное значение:

$$p = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{2(1+c_\lambda^2)-3}{8(1+c_\lambda^2)}}.$$

Отсюда следует, что коэффициент вариации $c_\lambda > 1/\sqrt{2}$. Таким образом, получено частное решение недоопределенной системы уравнений (11) и (12) методом подбора. Аналогично поступив с законом распределения (2), определяем его неизвестные параметры μ_1, μ_2, q .

Такой же подход к аппроксимации законов распределения гиперэкспоненциальным распределением применен в работах [5-7]. Таким образом, гиперэрланговский закон распределения может определяться полностью двумя первыми моментами и перекрывать весь диапазон изменения коэффициента вариации от $1/\sqrt{2}$ до ∞ , что шире, чем у гиперэкспоненциального распределения $(1, \infty)$.

Учитывая тот факт, что распределение HE_2 является трехпараметрическим, аппроксимацию можно выполнить и на уровне трех первых моментов. Для этого запишем выражения для начального момента третьего порядка, полученное через преобразование Лапласа (3):

$$\bar{\tau}_\lambda^3 = \frac{3p}{\lambda_1^3} + \frac{3(1-p)}{\lambda_2^3} \quad (15)$$

Теперь, присоединив уравнение (15) к уравнениям моментов (11) и (12) и решив систему 3-х нелинейных уравнений с тремя неизвестными в пакете Mathcad, находим все три параметра λ_1, λ_2, p распределения (1). Аналогично определяем три параметра μ_1, μ_2, q распределения (2). Как показано в работе [5] на примере гиперэкспоненциальных входных распределений, аппроксимация с использованием двух первых моментов, в отличие от трех моментов может занижать величину среднего времени ожидания до 10% в зависимости от загрузки и величины третьего момента.

Практическое применение полученных результатов

Ниже в таблицах 1-2 приведены результаты расчетов в пакете Mathcad среднего времени ожидания для системы $HE_2/HE_2/1$ по полученной расчетной формуле (12) для случаев малой, средней и высокой нагрузки $\rho = 0,1; 0,5; 0,9$. Коэффициент загрузки в расчетах определяется отношением средних интервалов времени обслуживания и интервалов между требованиями $\rho = \bar{\tau}_\mu / \bar{\tau}_\lambda$. Расчеты проведены для нормированного времени обслуживания $\bar{\tau}_\mu = 1$.

В таблице 1 приведены результаты для коэффициентов вариаций (c_λ, c_μ) , меньших единицы, а в таблице 2 – больших единицы. При этом для сравнения использованы результаты для СМО $E_2/E_2/1$ и $H_2/H_2/1$ соответственно. Как видно из таблиц 1-2, результаты в обоих случаях достаточно близки. Кроме того, полученные результаты хорошо согласуются с данными [11].

Таблица 1. Результаты для времени ожидания при коэффициентах вариаций (c_λ, c_μ) , меньших единицы

Входные параметры		Среднее время ожидания	
ρ	$(c_\lambda; c_\mu)$	для системы $HE_2/HE_2/1$	для системы $E_2/E_2/1$
0,1	(0,71; 0,71)	0,02	0,02
0,5	(0,71; 0,71)	0,40	0,39
0,9	(0,71; 0,71)	4,40	4,36

Таблица 2. Результаты для времени ожидания при коэффициентах вариаций (c_λ, c_μ) , больших единицы

Входные параметры		Среднее время ожидания	
ρ	$(c_\lambda; c_\mu)$	для системы $HE_2/HE_2/1$	для системы $H_2/H_2/1$
0,1	(2,2)	0,34	0,45
	(4,4)	1,68	1,78
	(8,8)	7,16	7,11
0,5	(2,2)	3,98	4,04
	(4,4)	16,53	16,13
	(8,8)	66,73	64,18
0,9	(2,2)	36,21	36,20
	(4,4)	145,31	144,83
	(8,8)	580,56	577,86

Заключение

В работе получено аналитическое решение для среднего времени ожидания для системы $HE_2/HE_2/1$ с использованием символьных операций пакета Mathcad. Этот результат дополняет и расширяет известную формулу для среднего времени ожидания для систем типа $G/G/1$. Используя предложенный подход, помимо среднего времени ожидания можно определить дисперсию и моменты высших порядков времени ожидания.

Полученный результат, с одной стороны, дополняет систему $H_2/H_2/1$, а с другой стороны расширяет диапазон изменения коэффициентов вариаций интервалов поступлений и времени обслуживания от $1/\sqrt{2}$ до ∞ . Для убедительности, данные расчетов для системы $HE_2/HE_2/1$ сравниваются с результатами для систем $E_2/E_2/1$ и $H_2/H_2/1$, что демонстрирует их достаточную близость.

Полученный результат с успехом может быть применен в современной теории телетрафика, где задержки пакетов входящего трафика играют первостепенную роль. Для этого необходимо знать числовые характеристики интервалов входящего трафика и времени обслуживания на уровне двух первых моментов, что не вызывает трудностей при использовании современных анализаторов трафика [7].

Литература

1. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Пер. с англ. – М. Машиностроение, 1979. – 432 с.
2. Brannstrom N. A Queueing Theory analysis of wireless radio systems – Applied to HS-DSCH. Lulea university of technology, 2004. – 79 p.
3. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
4. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания. – М.: Изд-во РУДН, 1995. – 529 с.
5. Тарасов В.Н. Исследование систем массового обслуживания с гиперэкспоненциальными входными распределениями // Проблемы передачи информации. – 2016. – №1. – С.16-26.
6. Тарасов В.Н., Карташевский И.В. Способы аппроксимации входных распределений для системы $G/G/1$ и анализ полученных результатов // Системы управления и информационные технологии. – 2015. – № 3. – С. 182-185.
7. Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф., Горелов Г.А., Малахов С.В. Анализ входящего трафика на уровне трех моментов распределений временных интервалов // Информационные технологии. – 2014. – №9. – С.54-59.
8. HTTTPS: URL //tools.ietf.org/html/rfc3393. RFC 3393 IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM) (д.о. 26.02.2016).
9. Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф., Горелов Г.А. Математическая модель трафика с тяжело-хвостным распределением на основе системы массового обслуживания $H_2/M/1$ // Инфокоммуникационные технологии. – 2014. – Т.12. – №3. – С. 36-41.
10. Тарасов В.Н. Бахарева Н.Ф. Обобщенная двумерная диффузионная модель массового обслуживания типа $GI/G/1$ // Телекоммуникации – 2009. – № 7. – С. 2-8.
11. Whitt W. Approximating a point process by a renewal process: two basic methods // Operation Research, 30. – 1982. – No. 1. – P. 125-147.

Получено 15.11.2018

Тарасов Вениамин Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой программного обеспечения и управления в технических системах (ПОУТС) ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-13. E-mail: tarasov-vn@psuti.ru

Бахарева Надежда Федоровна, д.т.н., профессор, заведующая Кафедрой информатики и вычислительной техники ПГУТИ. Тел. (8-846) 339-11-31. E-mail: bakhareva-nf@psuti.ru

Када Отхмане, аспирант Кафедры ПОУТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-13. E-mail: otman2333@gmail.com

QUEUEING SYSTEM $HE_2/HE_2/1$

Tarasov V.N., Bakhareva N.F., Kada Othmane

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: tarasov-vn@psuti.ru

The article is devoted to the analysis of the queueing system $HE_2/HE_2/1$ type $G/G/1$ with hyper Erlangen input distributions of the second order. The goal is to obtain a solution for the average waiting time for requests in the queue. To achieve it, the classical method of spectral de-composition of the solution of Lindley integral equation

is used. For the practical application of the results obtained, the method of moments is used. It turns out that the hyper Erlangen distribution law HE_2 , same as the hyperexponential law H_2 , which has three parameters, can be defined by both the first two moments and the first three moments. The article proposes an approximation mechanism for the hyper Erlangen law of arbitrary distributions using the well-known method of moments. The choice of such a law of probability distribution is due to the fact that its coefficient of variation is larger and covers a wider range than the hyperexponential distribution law, for which the coefficient of variation is greater than one. The method of spectral decomposition of the solution of the Lindley integral equation for the QS $HE_2/HE_2/1$ allows one to obtain a closed-form solution. Thus, the system under consideration allows working with coefficients of variations in the intake intervals and service time in the range $(1/\sqrt{2}, \infty)$, which expands the field of application of QS. The resulting formula for the average waiting time for the $HE_2/HE_2/1$ system complements and extends the well-known formula for the average waiting time in the $G/G/1$ system with arbitrary laws of the distribution of input flow intervals and service time.

Keywords: $HE_2/HE_2/1$ queuing system, average waiting time in a queue, spectral decomposition method, Lindley integral equation, Laplace transform

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.03

Tarasov Veniamin Nikolaevich, North Caucasus Federal University, 1 Pushkin Street, Stavropol, 355009, Russian Federation; Professor of the Department of Automatic Systems Information Security, Doctor of Technical Science. Tel. +78652956546. E mail: pashintsevp@mail.ru

Bakhareva Nadezhda Fedorovna, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Head of the Department of Informatics and Computer Technics, Doctor of Technical Science, Professor. Tel. +78463391131. E-mail: bakhareva-nf@psuti.ru

Kada Othmane, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; PhD Student of the Department of Software and Management in Technical Systems. Tel. +78462280013. E-mail: otman2333@gmail.com

References

1. Kleinrock L. *Teoriya massovogo obsluzhivaniya* [Queuing theory]. Moscow, Mashinostroenie Publ, 1979. 432 p.
2. Brannstrom N. *A Queueing Theory analysis of wireless radio systems – Applied to HS-DSCH*. Lulea University of technology, 2004. 79 p.
3. Bocharov P.P., Pechinkin A.V. *Teoriya massovogo obsluzhivaniya* [Queuing theory]. Moscow, Publishing House of Peoples' Friendship University, 1995. 529 p.
4. Aliev T.I. *Osnovy modelirovaniya diskretnykh sistem* [Fundamentals of discrete systems modeling]. Saint Petersburg, SPbGU ITMO Publ., 2009.
5. Tarasov V.N. Analysis of queues with hyperexponential arrival distributions. *Problems of Information Transmission*, 2016, vol. 52, no. 1, pp.14-23. DOI:10.1134/S0032946016010038.
6. Tarasov V.N., Kartashevsky I.V. Sposoby approksimatsii vhodnykh raspredelenij dlya sistemy G/G/1 i analiz poluchennykh rezul'tatov [Methods of approximation of input distributions for the system G/G/1 and analysis of the received results]. *Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii*, 2015, no. 3, pp. 182-185.
7. Tarasov V.N., Bahareva N.F., Gorelov G.A., Malakhov S.V. Analiz vkhodiaschego trafika na urovne trekh momentov raspredeleniy [Analyzing the Incoming Traffic at the Three Moments Distribution of Time Intervals]. *Informacionnye tekhnologii*, 2014, no. 9, pp. 54-59.
8. RFC 3393 IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM). Available at: tools.ietf.org/html/rfc3393 (accessed: 26.02.2016).
9. Tarasov V.N., Bahareva N.F., Gorelov G.A. Matematicheskaya model trafika s tyazhelohlostnym raspredeleniem na osnove sistemy massovogo obsluzhivaniya $H_2/M/1$ [Mathematical model of traffic with heavy-tailed distribution based on the queuing system $H_2/M/1$]. *Infokommunikacionnye tekhnologii*, 2014, no.3, pp. 36-41.
10. Tarasov V.N., Bahareva N.F. Obobshchennaya dvumernaya diffuzionnaya model' massovogo obsluzhivaniya tipa GI/G/1 [A generalized two-dimensional diffusion queuing model of the GI/G/1 type]. *Telekommunikatsii*, 2009, no.7, pp. 2-8.

11. Whitt W. Approximating a point process by a renewal process: two basic methods. *Operation Research*, 1982, vol. 30 no. 1, pp. 125-147.

Received 15.11.2018

ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.315.2

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ К ИЗГИБАМ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Алехин И.Н., Гаврюшин С.А., Попов В.Б., Никулина Т.Г., Мотин К.И.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: ntg81@list.ru

В статье представлены результаты анализа нормативно-технической документации и существующих методов испытаний кабелей связи на стойкость к отрицательным температурам. Рассмотрена методика испытания на холодоустойчивость защитного полиэтиленового шланга и методика испытания кабелей на стойкость к внешним воздействующим факторам, а именно к воздействию пониженной рабочей температуры окружающей среды. На основе выполненного анализа предложена методика испытаний кабелей на стойкость к изгибам при температуре окружающей среды -60°C . По предложенной методике выполнены исследования двух образцов кабелей связи: симметричных высокочастотных кабелей с пленко-пористо-пленочной полиэтиленовой изоляцией и симметричных высокочастотных кабелей связи с кордельно-полистирольной изоляцией. По результатам проведенных экспериментальных исследований показана высокая холодостойкость наружной полиэтиленовой оболочки испытанных образцов кабелей.

Ключевые слова: кабель связи, жесткость, холодостойкость, полиэтиленовая оболочка, изгиб

Введение

Вопросы обеспечения высокой надежности медножильных кабелей связи обладают в настоящее время большой актуальностью, поскольку «оптика» на сетях связи сегодня применяется не везде. Например, в сетях фиксированного широкополосного доступа (ШПД) наблюдается следующая ситуация: не более 10% населения в мире подключено к волокну непосредственно, что связано с достаточно большими затратами на реализацию технологии FTTH [1]. По этой причине многие операторы связи используют менее дорогие технологии FTTB и FTTC, в которых на абонентском участке используются медные кабели с применением высокоскоростного оборудования DSL. Ставку на использование медножильных кабелей при развитии ШПД делают сегодня операторы связи большинства стран Западной Европы. Например, в компании Deutsche Telecom затраты на строительство ШПД на основе VDSL2 на 70% ниже, чем по технологии FTTH [2]. Следует также сказать, что для решения технологических задач на ведомственных сетях связи еще достаточно широко используются симметричные кабели с медными жилами.

Отметим, что на сетях связи в России наиболее широко используются медножильные кабели связи четверочной скрутки типа МКПп и МКСА. Весьма часто эти кабели прокладываются и эксплуатируются в сложных, а порой и экстремальных природно-климатических условиях. Сильные морозы в продолжительный зимний период с низкими температурами осложняют прокладку и эксплуатацию кабелей.

Как показывает практика, при монтаже медножильных кабелей связи в районах с низкой отрицательной температурой (в России более 50% территории находится в районах вечной мерзлоты) кабели чаще всего повреждаются в месте их изгиба. В этой связи значительный практический интерес представляет проведение экспериментальных исследований стойкости наиболее широко применяемых кабелей связи типа МКПпАШп и МКСАШп к изгибам при низких отрицательных температурах.

Стандарты по испытаниям кабелей при низкой отрицательной температуре

Для разработки методики исследований был выполнен анализ методов испытаний кабелей связи на стойкость к низким отрицательным

температурам. Рассматривались нормативные и технические документы [3-10].

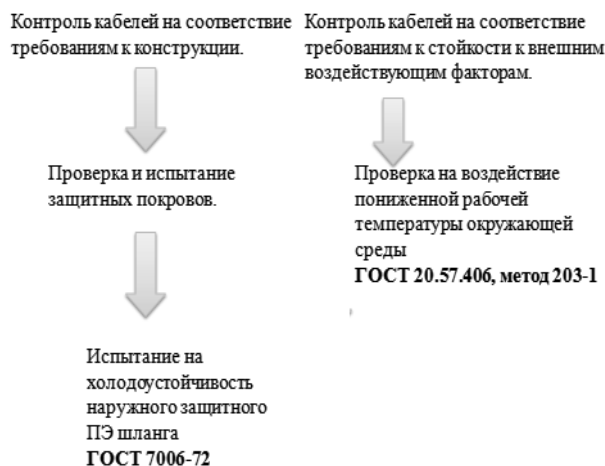


Рисунок 1. Система испытания кабелей связи при низких температурах

Анализ особенностей испытаний при низких температурах, согласно ТУ [3] для симметричных высокочастотных кабелей с пленко-пористой полиэтиленовой изоляцией типа МКП и ГОСТ [4] для симметричных высокочастотных кабелей с кордельно-полистирольной изоляцией типа МКС показал, что выполняется два вида испытаний:

- испытание на холодоустойчивость наружного защитного полиэтиленового (ПЭ) шланга;
- проверка на воздействие пониженной рабочей температуры окружающей среды (см. рисунок 1).

При этом методики испытаний разрабатывались на основе ГОСТ 7006-72 [5] и ГОСТ 20.57.406-81 [6]. Рассмотрим более подробно методики выполнения указанных выше испытаний.

Испытания на холодоустойчивость защитного полиэтиленового шланга

Испытание на холодоустойчивость защитного ПЭ шланга [5] проводится на образцах кабеля, плотно намотанных на испытательный цилиндр и помещенных в холодильную камеру. Число витков, диаметры испытательных цилиндров и температура испытаний должны быть указаны в технической документации на кабельные изделия. Защитные покрытия считают выдержавшими испытания, если шланги не имеют трещин, видимых невооруженным глазом, осмотр образцов проводится без их размотки с испытательных цилиндров после выдержки при температуре $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$ не менее 60 мин.

Следует отметить, что намотка образцов на цилиндр проводится при нормальной температу-

ре, затем только образец помещается в климатическую камеру и выдерживается при отрицательной температуре. При этом оценка результатов испытаний – визуальная, по отсутствию трещин на ПЭ оболочке кабеля.

Анализ действующих в России нормативно-технических документов показывает, что методика испытаний на холодоустойчивость защитного полиэтиленового шланга согласно ГОСТ 7006-72 [5] почти полностью совпадает с методикой испытаний, описанной в стандартах [7-8].

В ГОСТ ИЕС 60811-504-2015 [7] описывается методика проведения испытаний оболочек кабелей на изгиб при низких температурах для кабелей, имеющих диаметр до 12,5 мм. Кабель аналогично описанной выше методике ГОСТ 7006-72 наматывается плотно несколькими витками на цилиндр. Диаметр цилиндра должен быть в 5 раз больше диаметра кабеля. Число витков также зависит от диаметра кабеля. Контроль результатов испытаний - визуальный, на оболочке кабеля должны отсутствовать трещины.

В ГОСТ 17491-80 [8] методика испытаний для кабелей диаметром до 12,5 мм также совпадает с методикой испытаний ГОСТ ИЕС 60811-504-2015 - кабель также наматывается несколькими витками на цилиндр. Отличиями методики ГОСТ ИЕС 60811-504-2015 и ГОСТ 17491-80 от ГОСТ 7006 является то, что кабели сначала выдерживаются в климатической камере в распрямленном состоянии, до полного замерзания и только после этого наматываются на цилиндр. При этом вероятность повреждения кабеля будет больше, так как замороженный кабель обладает большей жесткостью.

Также следует отметить, что в ГОСТ 17491-80 приводится методика испытаний кабелей, имеющих диаметр выше 12,5 мм. В этом случае используется установка, приведенная на рисунке 2.

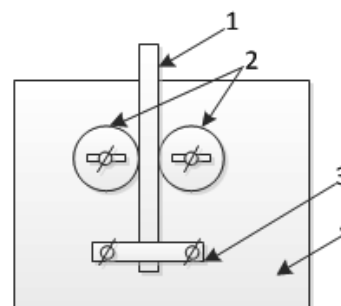


Рисунок 2. Устройство для проведения испытаний на изгиб при отрицательных температурах кабелей с пластмассовой оболочкой диаметром свыше 12,5 мм: 1 - образец; 2- съемные ролики; 3 - зажимы; 4 - стойка

Испытания проводят следующим образом. Образец кабеля выдерживается в распрямленном состоянии при отрицательной температуре 4 часа. После выдержки в камере холода образец должен быть подвергнут трем циклам изгиба вокруг роликов в противоположных направлениях со скоростью один изгиб в 3 с. Образец должен быть изогнут на угол не менее 90°. За цикл изгиба принимают изгиб вправо (влево), выпрямление, изгиб влево (вправо) и выпрямление. Кратность диаметров роликов должна быть указана в НТД на кабельные изделия.

Методика испытания кабелей на стойкость к внешним воздействующим факторам

Рассмотрим теперь, каким образом согласно ТУ и ГОСТ выполняются испытания кабелей на стойкость к внешним воздействующим факторам, а именно к воздействию пониженной рабочей температуры окружающей среды.

Для кабелей МКП испытание проводится на образцах кабеля длиной не менее 1,5 м, намотанных в нормальных климатических условиях на цилиндр, имеющий кратность по диаметру 30 диаметров по оболочке кабеля [3]. Концы образцов кабелей должны быть герметично заделаны. Образцы помещают в камеру холода и выдерживают 2 часа при температуре -50°C . После этого выдерживают в нормальных условиях 2 часа и проводят внешний осмотр, затем испытывают напряжением. Для кабелей МКСА испытания проводят аналогичным образом, но при температуре -30°C [4].

Таким образом, все рассмотренные испытания (и на холодоустойчивость защитного полиэтиленового шланга, и испытания кабелей на стойкость к внешним воздействующим факторам) проводят практически по одной методике – кабели наматываются на оправку заданного радиуса при нормальной температуре, а затем помещаются в камеру холода и выдерживаются там заданное время. Далее следует визуальный осмотр образцов (при испытаниях на холодоустойчивость защитного полиэтиленового шланга) или проверка напряжением вместе с визуальным осмотром (при испытаниях кабелей на стойкость к внешним воздействующим факторам).

Но, как уже было отмечено выше, принципиальным моментом является то, что кабели наматываются на оправки при нормальной температуре. Общеизвестно, что жесткость кабеля меняется при понижении температуры и как следствие возрастает вероятность его повреждения при изгибе. Практика работы в северных регионах России с

очень низкими температурами показывает, что наибольший интерес представляет изгиб кабеля, выдержанного в распрямленном состоянии при отрицательной температуре и затем испытанного на изгиб.

С учетом этого предлагается за основу взять методику испытания кабеля, описанную в ГОСТ 17491-80 для кабелей с диаметром свыше 12,5 мм. Испытания предлагается проводить для всех образцов кабелей в наиболее жестких условиях, при температуре -60°C с применением оправок с диаметрами равными 30 диаметров кабеля по алюминиевой оболочке, согласно требованиям [3-4]. Помимо внешнего осмотра, предлагается также выполнить испытания образцов кабелей напряжением.

Испытания кабелей на стойкость к изгибам при низких температурах

Два образца кабелей АО «Самарская кабельная компания» с внешним диаметром 30 мм (МКПпА-Шп) и 22 мм (МКСАШп) помещались в распрямленном состоянии в климатическую камеру. Затем образцы выдерживались в климатической камере при температуре -60°C в течение 4 часов.



Рисунок 3. Внешний вид установки для испытаний кабелей на изгиб

После выдержки в камере холода образцы подвергались трем циклам изгиба вокруг оправок в противоположных направлениях (см. рисунок 3) со скоростью один изгиб в течение 3 с на специально изготовленной установке (установка изготавливалась в соответствии с требованиями [8]). Образец изгибался на угол 90°. За один цикл изгиба принимался: изгиб вправо, выпрямление, изгиб влево, выпрямление. Радиусы оправок составляли 390 мм для кабеля МКПпАШп и 285 мм для кабеля МКСАШп, что соответствовало 30 ди-

аметрам кабелей по алюминиевой оболочке, согласно требованиям [3-4].



Рисунок 4. Изгиб кабеля на установке на угол 90°

Чтобы выполнить три цикла изгиба, каждый образец кабеля извлекался из климатической камеры и изгибался за ее пределами на установке (см. рисунок 4). Время после извлечения кабеля и выполнения трех циклов изгиба не превышало 3 мин. [8]. После выполнения трех циклов изгиба выполнялся визуальный осмотр кабеля на наличие или отсутствие повреждений. Затем образцы кабелей выдерживались при нормальной температуре 2 часа и выполнялись испытания напряжением. Образец кабеля считался выдержавшим испытания, если на его поверхности отсутствовали визуально различимые повреждения (трещины) и кабель выдерживал испытание напряжением.

После трех циклов изгиба был выполнен визуальный осмотр кабелей. Повреждений на оболочке кабелей не было. Затем образцы кабелей выдерживались 2 часа при температуре +20°C, после чего была выполнена подготовка образцов кабелей к испытаниям напряжением, которые проводились в соответствии с ТУ 16.К17-034-2003 для МКПпАШп и ГОСТ 15125-92 для МКСАШп. В течение 2 мин. испытательное напряжение величиной 2 кВ с частотой тока 50 Гц подавалось между всеми токопроводящими жилами, соединенными вместе, и металлической оболочкой. Оба образца кабелей выдержали испытания напряжением.

Заключение

По результатам проведенных экспериментальных исследований показана высокая холодостойкость наружной полиэтиленовой

оболочки симметричных высокочастотных кабелей связи МКПпАШп с пленко-пористо-пленочной полиэтиленовой изоляцией и симметричных высокочастотных кабелей связи с кордельно-полистирольной изоляцией МКСАШп производства АО «Самарская кабельная компания» к изгибам: кабели выдерживали испытания при изгибе радиусом 30 диаметров кабелей по алюминиевой оболочке при температуре –60°C.

Литература

1. Маззарес Д. Влияние увеличения пропускной способности на структуру оптоволоконной сети // Первая миля. – 2016. – №6. – С. 72-74.
2. Спрайт П., Ванхастел С. Векторизация 2.0: G.fast становится еще быстрее // Первая миля. – 2015. – №1. – С. 62-65.
3. ТУ 16.К17-034-2003. Кабели связи симметричные высокочастотные с пленко-пористой полиэтиленовой изоляцией. – Самара: СКК, 2003. – 28 с.
4. ГОСТ 15125-92. Кабели связи симметричные высокочастотные с кордельно-полистирольной изоляцией. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 27 с.
5. ГОСТ 7006-72. Покровы защитные кабелей. Конструкция и типы, технические требования и методы испытаний. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 15 с.
6. ГОСТ 20.57.406-81. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1981. – 159 с.
7. ГОСТ ИЕС 60811-504-2015. Кабели электрические и волоконно-оптические. Методы испытаний неметаллических материалов. Часть 504. Механические испытания. Испытания изоляции и оболочек на изгиб при низкой температуре. – М: Стандартинформ, 2016. – 11 с.
8. ГОСТ 17491-80. Кабели, провода и шнуры с резиновой и пластмассовой изоляцией и оболочкой. Методы испытания на холодостойкость. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 61-65 с.
9. ГОСТ ИЕС 60811-505-2015. Кабели электрические и волоконно-оптические. Методы испытаний неметаллических материалов. Часть 505. Механические испытания. Испытания изоляции и оболочек на удлинение при низкой температуре. – М: Стандартинформ, 2016. – 12 с.

10.ГОСТ ИЕС 60811-506-2015. Кабели электрические и волоконно-оптические. Методы испытаний неметаллических материалов. Часть 504. Механические испытания. Испытания

изоляции и оболочек на удар при низкой температуре. – М: Стандартинформ, 2016. – 11 с.

Получено 28.11.2018

Алехин Иван Николаевич, к.т.н., доцент Кафедры линии связи и измерения в технике связи (ЛС и ИТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: alekhin-pgati@yandex.ru

Гаврюшин Сергей Александрович, инженер Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: sagasg@inbox.ru

Попов Виктор Борисович, к.т.н., профессор Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

Никulina Татьяна Геннадьевна, к.т.н., доцент Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: ntg81@list.ru

Мотин Кирилл Игоревич, магистр Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-66. E-mail: kirill.motin@mail.ru

BENDING RESILIENCE STUDY FOR COMMUNICATION CABLES AT THE LOW NEGATIVE TEMPERATURES

Alekhin I.N., Gavryushin S.A., Popov V.B., Nikulina T.G., Motin K.I.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: ntg81@list.ru

The article presents the results of the analysis of the normative-technical documentation and the test methods for assessing the resilience of communication cables to negative temperatures. The method of testing the resilience to low temperatures for the protective polyethylene sheath of cable and for the cable itself is considered. Based on the analysis performed, a method of bending resilience testing at an ambient temperature of minus 60 degrees Celsius is proposed. According to the proposed method, two samples of communication cables were studied: symmetric high-frequency cable with film-porous-film polyethylene insulation and symmetric high-frequency communication cable with cord-polystyrene insulation. The results of experimental studies show a high resilience of the outer polyethylene sheath of tested cable samples.

Keywords: *communication cable, stiffness, cold resistance, polyethylene sheath, bending*

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.04

Alekhin Ivan Nikolaevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Communication Lines; PhD in Technical Sciences. Tel. +78462280066. E-mail: alekhin-pgati@yandex.ru

Gavryushin Sergey Alexandrovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Engineer of the Department of Communication Lines. Tel. +78462280066. E-mail: gavrushin-sa@psuti.ru

Popov Victor Borisovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Professor of the Department of Communication Lines; PhD in Technical Sciences, Professor. Tel. +78462280066. E-mail: inkat@inbox.ru

Nikulina Tatyana Gennadyevna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Communication Lines; PhD in Technical Sciences. Tel. +78462280066. E-mail: ntg81@list.ru

Motin Kirill Igorevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Master student of the Department of Communication Lines. Tel. +78462280066. E-mail: kirill.motin@mail.ru

References

1. Mazzares D. Vliyaniye uvelicheniya propusknoy sposobnosti na uchastok optovolokonnoy seti [The effect of increased bandwidth on the structure of the optical network]. *Pervaya milya*, 2016, no. 6, pp. 72-74.
2. Sprayt P., Vankhastel S. Vektorizatsiya 2.0: G.fast stanovitsya yeshche bystreye [Vectorization 2.0: G.fast getting even faster]. *Pervaya milya*, 2015, no. 1, p. 62-65.
3. TU 16.K17-034-2003. Kabeli svyazi simmetrichnyye vysokochastotnyye s plenkoporistoy polietilenovoy izolyatsiyey [Technical conditions 16.K17-034-2003. Symmetrical high-frequency communication cables with film-porous polyethylene insulation]. Samara, SKK Publ., 2003. 28 p.
4. GOST 15125-92. Cord-polystyrene insulated high-frequency balanced communication cables. Moscow, Standards Publ., 1992. 27 p. (In Russian).
5. GOST 7006-72. Protective coverings of cables. Design and types, technical requirements and test methods, Moscow, Standards Publ., 2004. 15 p. (In Russian).
6. GOST 20.57.406-81. Complex quality control system. Electronic, quantum electronic and electrotechnical components. Test methods, Moscow, Standards Publ., 1981. 159 p. (In Russian).
7. GOST IEC 60811-504-2015. Electric and optical fibre cables. Test methods for non-metallic materials. Part 504. Mechanical tests. Bending tests at low temperature for insulation and sheaths, Moscow, Standartinform Publ., 2016. 11 p. (In Russian).
8. GOST 17491-80. Cables, wires and cords with rubber and plastic insulation and sheath. Methods of frostproofness tests. Moscow, Standards Publ., 2003. 61-65 p. (In Russian).
9. GOST IEC 60811-505-2015. Electric and optical fibre cables. Test methods for non-metallic materials. Part 505. Mechanical tests. Elongation tests at low temperature for insulation and sheaths, Moscow, Standartinform Publ., 2016. 12 p. (In Russian).
10. GOST IEC 60811-506-2015. Electric and optical fibre cables. Test methods for non-metallic materials. Part 506. Mechanical tests. Impact test at low temperature for insulations and sheaths, Moscow, Standartinform Publ., 2016. 11 p.

Received 28.11.2018

УДК 004.03

СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ В СИСТЕМЕ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВИДА $H_2/H_2/1$

Карташевский И.В., Малахов С.В., Мезенцева Е.М.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, Россия

E-mail: ivk@psuti.ru

В статье рассматривается два различных подхода к определению среднего времени задержки требования в очереди для систем массового обслуживания, где время поступления и обслуживания требований имеют гиперэкспоненциальное распределение второго порядка. Первый подход подразумевает решение интегрального уравнения Линдли спектральным методом и сводится к тому, чтобы найти выражение для спектрального разложения в виде произведения двух множителей, которое давало бы рациональную функцию. Второй подход основан на предположении эргодичности последовательности интервалов времени ожидания заявки в очереди с учетом рациональной формы преобразования Лапласа от экспоненты. Ключевым моментом этого подхода является использование характеристической функции, определяемой преобразованием Лапласа для плотности вероятностей суммы рассматриваемых случайных величин. Для вычисления среднего времени задержки в очереди определяются параметры гиперэкспоненциальных распределений на основе проведения аппроксимации случайных величин, определяющих время поступления и обслуживания, на уровне трех моментных характеристик.

Ключевые слова: система массового обслуживания $H_2/H_2/1$, среднее время ожидания в очереди, метод спектрального разложения, интегральное уравнение Линдли, преобразование Лапласа-Стилтьеса, аппроксимация на уровне трех моментов

Введение

Для анализа и моделирования трафика современных компьютерных сетей и сетей телекоммуникаций широко используется класс суб-

экспоненциальных распределений, куда входят, в частности, распределения Вейбулла, гамма, логнормальное и гиперэкспоненциальное, имеющие коэффициенты вариации большие едини-

цы и относящиеся к распределениям с «тяжелым хвостом».

На рисунке 1 приведены фрагменты хвостов функций плотности этих распределений, а для сравнения приведено классическое экспоненциальное распределение. Слева от классического экспоненциального распределения приведен хвост сдвинутого экспоненциального распределения с коэффициентом вариации $c_r = 0,5$ (так называемый «легкий хвост»). Для всех приведенных распределений средние значения равны $m_r = 0,25$, а дисперсии для распределений с «тяжелым хвостом» равны $D_r = 0,25$, что дает коэффициент вариации интервала времени $c_r = 2,0$ (далее оба ключевых термина употребляются без кавычек).

Из теории массового обслуживания известно, что среднее время ожидания требований в системе при распределениях с тяжелым хвостом намного больше, чем у классической системы M/M/1. В настоящее время не существует аналитических методов для точного определения характеристик СМО G/G/1 или G/G/m, и, как следствие, это отражается на степени адекватности стохастических сетевых моделей реальным компьютерным сетям и на качестве принимаемых проектных решений. Вместе с тем анализ характеристик любого сетевого устройства можно провести именно на основе модели системы массового обслуживания типа G/G/1, предполагая, что выполняются условия независимости интервалов времени между заявками и интервалов обслуживания в последовательности заявок [9].

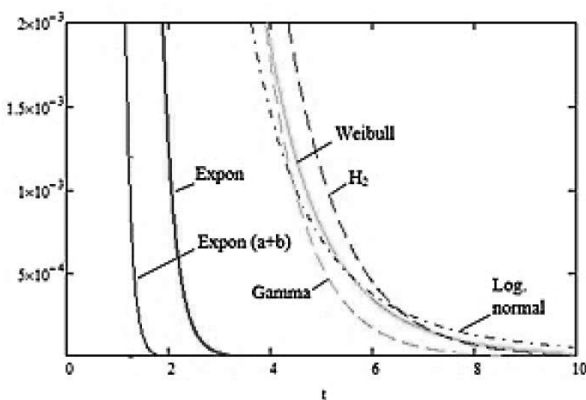


Рисунок 1. Фрагменты хвостов функций плотности из класса экспоненциальных распределений

Упрощения анализа можно достичь, аппроксимируя распределения с тяжелыми хвостами, входящие в систему G/G/1, гиперэкспоненциальными распределениями, представляющими собой распределение смеси пуассоновских потоков

[8]. При этом система G/G/1 заменяется системой $H_K / H_L / 1$, где H_K определяет плотность вероятности случайных интервалов времени между заявками в виде [10]

$$w_1(x) = \sum_{i=1}^K p_i \lambda_i e^{-\lambda_i x}, \quad \sum_{i=1}^K p_i = 1. \quad (1)$$

Аналогично, для плотности интервалов времени обслуживания заявок можно записать

$$w_2(x) = \sum_{j=1}^L q_j \mu_j e^{-\mu_j x}, \quad \sum_{j=1}^L q_j = 1. \quad (2)$$

Для сравнения, гиперэкспоненциальное распределение второго порядка H_2 (см. рисунок 1) из класса субэкспоненциальных распределений содержит три неизвестных параметра, в то время как остальные распределения с тяжелым хвостом (Вейбулла, гамма, логнормальное) содержат по два неизвестных параметра. Это позволяет аппроксимировать произвольные входные распределения с тяжелым хвостом на уровне трех моментов.

Такой подход призван повысить адекватность и достоверность моделей массового обслуживания. Кроме того, только для входных распределений системы массового обслуживания, описываемых гиперэкспоненциальным распределением 2-го порядка H_2 , можно получить решение для среднего времени ожидания аналитически [5]. Рассмотрим методы определения среднего времени ожидания в очереди для системы $H_2/H_2/1$.

Подход на основе решения уравнения Линдли спектральным методом

Исходя из (1), в системе $H_2/H_2/1$ интервалы между соседними требованиями входного потока распределены по закону

$$a(t) = p \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + (1-p) \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}. \quad (3)$$

Аналогично из (2) время обслуживания

$$b(t) = q \mu_1 e^{-\mu_1 t} + (1-q) \mu_2 e^{-\mu_2 t}. \quad (4)$$

Основные характеристики системы G/G/1, как следует из [1], описываются известными из теории случайных процессов интегральными уравнениями типа Винера-Хопфа. Одно из этих уравнений в [1] выведено в форме интегрального уравнения Линдли:

$$W(y) = \begin{cases} \int_{-\infty}^y W(y-u) dC(u), & y \geq 0; \\ 0, & y < 0, \end{cases}$$

где $W(y)$ – функция распределения вероятностей (ФРВ) времени ожидания требования в очереди, $C(u)$ – ФРВ предельной случайной величины $U = \lim_{n \rightarrow \infty} U_n = x_n - t_{n+1}$, где в свою очередь x_n – время обслуживания n -го требования C_n , t_{n+1} – интервал времени между поступлением требований C_n и C_{n+1} .

Первый подход подразумевает решение уравнения Линдли спектральным методом и сводится к тому, чтобы для выражения $A^*(-s) \cdot B^*(s) - 1$ найти представление в виде произведения двух множителей, которое давало бы рациональную функцию от s [1]. То есть для нахождения распределения времени ожидания необходимо следующее спектральное разложение

$$A^*(-s) \cdot B^*(s) - 1 = \frac{\psi_+(s)}{\psi_-(s)},$$

где $A^*(-s)$ и $B^*(s)$ – преобразования Лапласа плотности распределения интервалов времени поступления и обслуживания соответственно, $\psi_+(s)$ и $\psi_-(s)$ – некоторые рациональные функции от s , которые можно разложить на множители. В [2] показано, что среднее время ожидания в очереди может быть определено как

$$\bar{W} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} - \frac{1}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_2}, \quad (5)$$

где $-s_1$ и $-s_2$ отрицательные корни кубического уравнения

$$\begin{aligned} s^3 - c_2 s^2 - c_1 s - c_0 &= 0, \text{ где} \\ c_0 &= \mu_1 \mu_2 [\lambda_1 (1-p) + \lambda_2 p] - \\ &- \lambda_1 \lambda_2 [\mu_1 (1-q) + \mu_2 q], \quad c_1 = -[p \lambda_1 + (1-p) \lambda_2] \times \\ &\times [q \mu_1 + (1-q) \mu_2] - \mu_1 \mu_2 - \lambda_1 \lambda_2 + (\lambda_1 + \lambda_2)(\mu_1 + \mu_2); \\ c_2 &= \lambda_1 + \lambda_2 - \mu_1 - \mu_2. \end{aligned}$$

Далее рассмотрим пример [6-7]. Пусть коэффициент загрузки СМО $\rho = \bar{c}_\mu / \bar{c}_\lambda = 0,5$, где \bar{c}_λ и \bar{c}_μ – средние значения интервалов между поступлениями и времени обслуживания. Рассмотрим для удобства случай нормированного обслуживания $\bar{c}_\mu = \mu^{-1} = 1$. Тогда средний интервал между поступлениями $\bar{c}_\lambda = 2$.

Пусть коэффициенты вариаций интервалов между поступлениями и времени обслуживания $c_\lambda = c_\mu = 2$, коэффициенты асимметрий $A_{S\lambda} = A_{S\mu} = 5$. При этих значениях входных параметров СМО начальные моменты 2-го и 3-го по-

рядков для обоих распределений соответственно будут: $\bar{c}_\lambda^2 = 20$, $\bar{c}_\lambda^3 = 320$, $\bar{c}_\mu^2 = 5$, $\bar{c}_\mu^3 = 40$. Как известно, для пуассоновского потока параметры $c_\lambda = 1$, $A_S = 2$.

При таких исходных данных, для определения неизвестных параметров входного распределений (3) и (4): λ_1 , λ_2 , p , μ_1 , μ_2 , q получим следующие системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{p}{\lambda_1} + \frac{(1-p)}{\lambda_2} = 2; \\ \frac{2p}{\lambda_1^2} + \frac{2(1-p)}{\lambda_2^2} = 20; \\ \frac{6p}{\lambda_1^3} + \frac{6(1-p)}{\lambda_2^3} = 320, \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \frac{q}{\mu_1} + \frac{(1-q)}{\mu_2} = 1; \\ \frac{2q}{\mu_1^2} + \frac{2(1-q)}{\mu_2^2} = 5; \\ \frac{6q}{\mu_1^3} + \frac{6(1-q)}{\mu_2^3} = 40, \end{cases} \quad (7)$$

решив которые, найдем эти параметры.

Решение системы (6) дает следующие результаты: $p \approx 0,651$, $\lambda_1 \approx 4,813$, $\lambda_2 \approx 0,187$, а системы (7) – $q \approx 0,651$, $\mu_1 \approx 9,626$, $\mu_2 \approx 0,374$. Тогда коэффициенты кубического уравнения будут равны: $c_0 \approx 3,240$; $c_1 \approx 25,020$; $c_2 = -5,0$.

Решение кубического уравнения $s^3 - c_2 s^2 - c_1 s - c_0 = 0$ тем же методом дает следующие корни: $s_1 \approx -8,056$, $s_2 \approx -0,126$, $s_3 \approx 3,182$, и соответственно, среднее время ожидания (5) равно $\bar{W} \approx 5,261$ ед. времени.

Подход на основе использования характеристической функции

Второй подход основан на предположении эргодичности последовательности интервалов времени ожидания заявки в очереди с учетом рациональной формы преобразования Лапласа от экспоненты [3]. В частности, для плотности вида (1) преобразование Лапласа имеет вид

$$W_1(s) = \int_0^\infty e^{-sx} w_1(x) dx = \sum_{i=1}^K \frac{p_i \lambda_i}{\lambda_i + s}. \quad (8)$$

Ключевым моментом этого подхода является использование характеристической функции, определяемой преобразованием Лапласа для

плотности вероятностей суммы случайных величин $U_n = x_n - t_{n+1}$, $n = 1, 2, \dots, \infty$.

Распределение суммы двух случайных величин в предположении их независимости определяется сверткой распределений слагаемых. Тогда в предположении эргодичности последовательности U_n поведение ее плотности вероятностей может быть описано выражением

$$g_\infty(x) = \delta(x) + \sum_{k=1}^{\infty} r_{U_n}^{(k)}(x), \quad n \rightarrow \infty,$$

где дельта-функция характеризует значение плотности при $k=0$, а $r_{U_n}^{(k)}(x)$ – k -мерная свертка плотностей вероятности величин U_n . Теперь характеристическая функция $\gamma(s)$ последовательности независимых величин U_n на основе свойства независимости слагаемых при вычислении характеристической функции суммы слагаемых определится в виде

$$\gamma(s) = \sum_{k=0}^{\infty} \theta_{U_n}^k(s) = \frac{1}{1 - \theta_{U_n}(s)},$$

где $\theta_{U_n} = E(e^{-sU_n})$. С учетом формул (8), (1) и (2) для $\theta_{U_n} = E(e^{-sU_n})$ можно записать.

$$\theta_{U_n} = \left[\sum_{i=1}^K p_i \frac{\lambda_i}{\lambda_i - s} \right] \left[\sum_{j=1}^L q_j \frac{\mu_j}{\mu_j + s} \right].$$

Последний результат принципиально упрощает факторизацию характеристической функции $\gamma(s)$, что объясняется наличием только вещественных корней у полиномов числителя и знаменателя $\gamma(s)$.

Для системы $H_2/H_2/1$ определение необходимых корней требует решения кубического уравнения, которое задается следующим образом [3]:

$$s^3 + s^2[(a_1 + a_2)M - (b_1 + b_2)\Lambda - A + B] - s[AM + B\Lambda] - \mu_1\mu_2A + \lambda_1\lambda_2B = 0, \quad (9)$$

где $\Lambda = \lambda_1 + \lambda_2$, $M = \mu_1 + \mu_2$, $A = a_1\lambda_2 + a_2\lambda_1$, $B = b_1\mu_2 + b_2\mu_1$, а коэффициенты определяются как

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{\mu_1 p q}{\lambda_1 + \mu_1} + \frac{\mu_2 p (1 - q)}{\lambda_1 + \mu_2}; \\ a_2 &= \frac{\mu_1 (1 - p) q}{\lambda_2 + \mu_1} + \frac{\mu_2 (1 - p) (1 - q)}{\lambda_2 + \mu_2}; \\ b_1 &= \frac{\lambda_1 p q}{\lambda_1 + \mu_1} + \frac{\lambda_2 (1 - p) q}{\lambda_2 + \mu_1}; \\ b_2 &= \frac{\lambda_1 p (1 - q)}{\lambda_1 + \mu_2} + \frac{\lambda_2 (1 - p) (1 - q)}{\lambda_2 + \mu_2}. \end{aligned}$$

Среднее время ожидания определяется как

$$\bar{T} = - \frac{z_1^{(n)} z_2^{(n)} z_1^{(n)} \mu_2 (z_2^{(n)} - \mu_1) + z_2^{(n)} \mu_1 (z_1^{(n)} - \mu_2)}{\mu_1 \mu_2 (z_1^{(n)} z_2^{(n)})^2}$$

где $z_1^{(n)}, z_2^{(n)}$ – отрицательные корни кубического уравнения (9).

Если подставить полученные ранее значения $p \approx 0,651$, $\lambda_1 \approx 4,813$, $\lambda_2 \approx 0,187$, $q \approx 0,651$, $\mu_1 \approx 9,626$, $\mu_2 \approx 0,374$ в (9), то получим кубическое уравнение

$$s^3 + 5s^2 - 27,57s - 3,24 = 0,$$

корнями уравнения будут являться $z_1^{(n)} = -8,28$; $z_2^{(n)} = -0,12$; $z_3^{(n)} = 3,40$; подставив которые в выражение для среднего времени ожидания, получим среднее время ожидания $\bar{W} \approx 5,68$.

Заключение

Выше рассмотрены два различных подхода к определению среднего времени ожидания в системе массового обслуживания $H_2/H_2/1$. Первый подход, основанный на спектральном методе решения интегрального уравнения Линдли, дал среднее время ожидания $\bar{W} \approx 5,261$. Второй подход, основанный на предположении эргодичности последовательности интервалов времени ожидания заявки в очереди и учитывающий рациональную форму преобразования Лапласа от экспоненты, дал результат $\bar{W} \approx 5,68$. Сравнивая два полученных значения, можно заметить их хорошее совпадение (разница составляет примерно 7%).

Недостатком первого подхода является то, что аналитическое решение, основанное на вычислении моментов, легко получается только при использовании аппроксимации реальной системы $G/G/1$ системой $H_2/H_2/1$, что связано с решением систем уравнений (6) и (7) лишь для трех моментов используемых распределений. При использовании аппроксимации $H_K/H_L/1$, что могло бы потенциально повысить точность расчетов среднего времени ожидания, потребуется вычисление большего числа моментов (соответственно порядка $K+1$ и $L+1$), что существенно усложнит задачу решения систем уравнений типа (6) и (7).

При втором подходе переход к аппроксимации $H_K/H_L/1$ приведет только к повышению порядка линейного уравнения типа (9), что, однако, не снимает проблемы вычисления параметров аппроксимирующих гиперэкспоненциальных распределений. Возможный вариант вычисления этих параметров рассмотрен в [4]. Кроме того, при втором подходе можно относительно просто

показать, что распределение искомого времени ожидания заявки в очереди также удовлетворяет гиперэкспоненциальному распределению.

Литература

1. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Пер. с англ. М.: Машиностроение. 1979. – С. 80-86.
2. Тарасов В.Н., Карташевский И.В. Определенные среднего времени ожидания требований в управляемой системе массового обслуживания $H_2/H_2/1$ // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – Т. 57. – № 3. – С. 92-96.
3. Карташевский И.В. Модель трафика для программно-конфигурируемых радиосетей // Радиотехника. – 2016. – № 6. – С. 124-129.
4. Keilson J., Machihara F. Hyperexponential waiting time structure in hyperexponential system // Journal of the Operation Society of Japan. – 1985. – Vol. 28. – No. 3. – P. 242-250. DOI: 10.15807/jorsj.28.242.
5. Тарасов В.Н. Исследование систем массового обслуживания с гиперэкспоненциальными входными распределениями // Проблемы передачи информации. – 2016. – №1. – С. 16-26.
6. Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф., Горелов Г.А., Малахов С.В. Анализ входящего трафика на уровне трех моментов распределений временных интервалов // Информационные технологии. – 2014. – №9. – С. 54-59.
7. Тарасов В.Н., Карташевский И.В. Способы аппроксимации входных распределений для системы G/G/1 и анализ полученных результатов // Системы управления и информационные технологии. – 2015. – № 3. – С. 182-185.
8. Feldmann A, Whitt W. Fitting mixtures of exponentials to long-tail distributions to analyze network performance models // Performance Evaluation 31. – 1998. – P. 245-279. DOI: 10.1016/S0166-5316(97)00003-5.
9. Jagerman D.L., Balcioglu B., Altioek T., Melamed B. Mean Waiting Time Approximations in the G/G/1 Queue // Queueing Systems. – 2004. – No.46. – P. 481-506. DOI: 10.1023/B:QUEES.0000027996.28824.89.
10. Карташевский И.В., Сапрыкин А.В. Обработка коррелированного трафика в узле сети типа G/G/1 // Радиотехника. – 2017. – №10. – С. 119-125.

Получено 01.11.2018

Карташевский Игорь Вячеславович, к.т.н., доцент Кафедры программного обеспечения и управления в технических системах (ПОУТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-13. E-mail: ivk@psuti.ru

Малахов Сергей Валерьевич, к.т.н., доцент Кафедры ПОУТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-13. E-mail: malakhov-sv@psuti.ru

Мезенцева Екатерина Михайловна, к.т.н., доцент Кафедры ПОУТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-13. E-mail: katya-mem@psuti.ru

COMPARISON OF DIFFERENT APPROACHES FOR ESTIMATING THE AVERAGE WAITING TIME IN THE QUEUE FOR QUEUING SYSTEM $H_2/H_2/1$

*Kartashevskiy I.V., Malakhov S.V., Mezentseva E.M.
Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics
E-mail: ivk@psuti.ru*

The article discusses two different approaches for estimating the average waiting time of a request in a queue for queuing systems with second order hyperexponential distribution of interarrival and service time. The first approach involves solving the Lindley integral equation using the spectral method and reduces to finding an expression for the spectral decomposition as a composition of two multipliers that would give a rational function of an argument. The second approach is based on the assumption of ergodicity of the initial sequence of waiting time for a request in a queue considering the rational form of the Laplace transform from the exponent. The key point of this approach is the usage of the characteristic function defined by the Laplace transform for the probability density function of the sum of the random variables. To calculate the average delay time in the queue, the parameters of hyperexponential distributions are determined with the approximation of random variables defining the interarrival and service time at the level of three moment characteristics. This approach is designed to improve the adequacy and reliability of

queuing models. In addition, only for the input distributions of the queuing system described by the hyperexponential distribution of the second order we can get an analytical solution for average waiting time.

Keywords: *Queuing system $H_2/H_2/1$, average waiting time in the queue, method of spectral decomposition, the Lindley integral equation, the Laplace-Stieltjes transform*

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.05

Kartashevskiy Igor Viacheslavovich, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Software and Management in Technical Systems; PhD in Technical Sciences. Tel. +78462280013. E-mail: ivk@psuti.ru

Malakhov Sergey Valerievich, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Software and Management in Technical Systems; PhD in Technical Sciences. Tel. +78462280013. E-mail: malakhov-sv@psuti.ru

Mezentsseva Ekaterina Mikhaylovna, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Software and Management in Technical Systems; PhD in Technical Sciences. Tel. +78462280013. E-mail: katiya-mem@psuti.ru

References

1. Kleinrock L. *Teoriya massovogo obsluzhivaniya* [Queuing theory]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ, 1979. 432 p.
2. Tarasov V.N., Kartashevskiy I.V. Neytral'nyy kontrol' $H_2/H_2/1$ [Determination of average waiting time of requirements in a controlled queuing system $H_2/H_2/1$]. *Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii*, 2014, vol. 57, no. 3, pp. 92-96.
3. Kartashevskiy I.V. Model' trafika dlya programmno-konfiguriruyemykh radiosetey [Traffic Model for Software Configurable Radio Networks]. *Radiotekhnika*, 2016, no. 6, pp. 124-129.
4. Keilson J., Machihara F. Hyperexponential waiting time structure in hyperexponential system. *Journal of the Operation Society of Japan*, 1985, vol. 28, no. 3, pp. 242-250. DOI: 10.15807/jorsj.28.242.
5. Tarasov V.N. Issledovaniye sistem massovogo obsluzhivaniya s gipereksponentsial'nymi vkhodnymi raspredeleniyami [Research of queuing systems with hyperexponential input distributions]. *Problemy peredachi informatsii*, 2016, no. 1. pp. 16-26.
6. Tarasov V.N., Bahareva N.F., Gorelov G.A., Malakhov S.V. Analiz vkhodiashego trafika na urovne trekh momentov raspredeleniy [Analyzing the Incoming Traffic at the Three Moments Distribution of Time Intervals]. *Informacionnye tekhnologii*, 2014, no. 9, pp. 54-59.
7. Tarasov V.N., Kartashevskiy I.V. Sposoby approksimatsii vhodnykh raspredeleniy dlya sistemy G/G/1 i analiz poluchennykh rezul'tatov [Methods of approximation of input distributions for the system G/G/1 and analysis of the received results]. *Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii*, 2015, no. 3, pp. 182-185.
8. Feldmann A, Whitt W. Fitting mixtures of exponentials to long-tail distributions to analyze network performance models. *Performance Evaluation*, 1998, vol. 31, pp. 245-279. DOI: 10.1016/S0166-5316(97)00003-5.
9. Jagerman D.L., Balcioglu B., Altiok T., Melamed B. Mean Waiting Time Approximations in the G/G/1 Queue. *Queueing Systems*, 2004, no. 46, pp. 481-506. DOI: 10.1023/B:QUES.0000027996.28824.89.
10. Kartashevskiy I.V., Saprykin A.V. Obrabotka korrelirovannogo trafika v uzle seti tipa G/G/1 [Processing of correlated traffic in a network node of type G/G/1]. *Radiotekhnika*, 2017, no. 10, pp. 119-125.

Received 01.11.2018

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЖИТТЕРА ПАКЕТОВ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ
ПО МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ*Буранова М.А., Карташевский В.Г.**Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ**E-mail: mburanova@yandex.ru, kartashevskiy-vg@psuti.ru*

Параметры качества обслуживания сети, такие как задержка, джиттер и вероятность потери заявок, являются весьма важными при оценке качества функционирования сетей. Как правило, основное внимание уделяется задержке, в тоже время джиттер задержки является не менее важной величиной, определяющей качество обслуживания в сетях с обработкой мультимедийных потоков. В данной работе рассмотрена система очередей G/M/1 и проблема оценки джиттера в данной системе. Предложена методика оценки джиттера в имитационной модели при обработке потоков с экспоненциальным распределением длин пакетов и с экспоненциальным, Парето и Вейбулла распределениями интервалов времени между пакетами, которые использовались в качестве примеров произвольного распределения. Приведено сравнение результатов имитационного моделирования и аналитической оценки джиттера.

Ключевые слова: джиттер, имитационное моделирование, системы очередей, ns2, распределение интервалов времени между пакетами

Введение

Современные сети связи отличаются многообразием услуг, и в связи с этим большим количеством протоколов и технологий, используемых для обеспечения данных услуг. Основной задачей в разработке существующих IP-сетей является интеграция и поддержка широкого спектра приложений и сервисов, объединяющих голос, данные, потоковое вещание и VoD. Различные типы носителей, обменивающиеся этими приложениями, имеют разные требования в отношении полосы пропускания, задержки, джиттера и надежности.

Важной задачей является обеспечение качества услуг. При этом следует учесть, что для различных приложений требования к параметрам качества услуг различны. Традиционно в качестве параметров, которые определяют уровень качества обслуживания, используют задержку, джиттер и вероятность потерь пакетов. Для современных мультимедийных приложений наибольшее значение имеет задержка и её вариация, или джиттер. Данный параметр оказывает серьезное влияние на качество обслуживания трафика приложений реального времени. К таким приложениям относятся в первую очередь IPTV, видеоконференции, VoD, VoIP. В настоящее время джиттер задержки остается одним из важнейших параметров качества обслуживания. Например, оценка джиттера и управление джиттером могут способствовать уменьшению вероятности переполнения буфера, что приводит к потерям пакетов, когда приложе-

ние не принимает пакеты в течение некоторого времени.

Исследование джиттера как важного параметра, характеризующего поведение трафика, является весьма важной задачей.

Определим джиттер как

$$J_{i+1} = |T_{i+1} - T_i|, \quad (1)$$

где T_i – время передачи i -го пакета. Отметим, что в [1] под джиттером понимают среднюю абсолютную вариацию задержки, а в [2] джиттер определяется как изменение задержки в потоке от некоторого минимального значения.

Проблема оценки джиттера рассматривается во многих работах. Например, в [3] предложены методы оценки джиттера в тандемной очереди. Как правило, в качестве математической модели системы используют систему M/M/1, то есть предполагается марковская модель поступления и обслуживания заявок. Такую модель трафика можно считать справедливой, например, на уровне агрегации трафика мультисервисной сети. Для большинства потоков данная модель является слишком упрощенной [4-6]. Чаще приходится иметь дело с потоками, обладающими свойствами самоподобия. При этом для параметров трафика, таких как интервалы времени между пакетами и длительности пакетов, характерны распределения с тяжелыми хвостами и наличие корреляционных связей. Поэтому современные системы, обрабатывающие непуассоновский трафик, лучше описываются моделями G/G/1 (G/G/n).

В [11] приведены решения по оценке джиттера для некоторых непугассоновских потоков, где исследуется влияние длинных пакетов на задержку коротких пакетов в современных телекоммуникационных сетях с коммутацией пакетов. В [8-10] приведена оценка сквозного джиттера общего потока при интенсивном и малоинтенсивном движении (данная тема нашла развитие в [13-14] при анализе задержки пакетов).

В [12] приведены некоторые примеры расчета джиттера задержки пакетов трафика при обработке в различных системах массового обслуживания в одиночной очереди. Рассмотрены особенности подходов к определению джиттера в системе G/G/1, причем статистические особенности современного трафика в основном характеризуются распределениями Парето и Вейбулла.

Представляет интерес расширить спектр используемых распределений с тяжелыми хвостами при анализе джиттера, провести моделирование процессов обработки IP-трафика для различных моделей и дать аналитическую оценку джиттера передачи пакетов при обработке трафика в системе G/M/1.

Имитационное моделирование в программе ns2

В качестве среды для имитационного моделирования используется программа ns2. Данная программа позволяет реализовать большой набор моделей трафика с широким диапазоном распределений. Кроме того, имеется возможность моделирования обработки трафика, зарегистрированного на реальной сети. Модель обработки трафика реализована согласно схеме, рисунок 1.

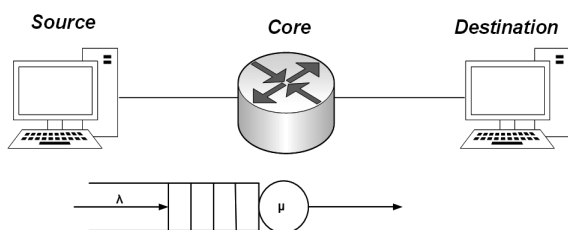


Рисунок 1. Схема моделирования в ns2

Исследуемый трафик описывается моделью G/M/1, где интервалы времени между пакетами описываются следующими распределениями: экспоненциальное, Парето, Вейбулла. В рамках данной модели также обрабатывался трафик, снятый на реальной сети оператора связи [7], интервалы времени между пакетами которого описывались распределением Dagum. В качестве модуля имитационной модели транспортного

уровня выбран UDP, что позволяет передавать пакеты без повторных передач в случае потери и без подтверждений.

Пример 1. Экспоненциальное распределение интервалов времени между пакетами. В данном примере моделируется очередь типа M/M/1. Функция экспоненциального распределения имеет вид

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad , \quad (2)$$

где λ – параметр распределения, в нашем случае это интенсивность поступления пакетов; $x \geq 0$ – непрерывная случайная величина.

В программе ns2 данная модель трафика задается следующим кодом:

```
set udp [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $s2 $udp
set rng1 [new RNG]
$rng1 seed 1
set arrival_t [new RandomVariable/Exponential]
$arrival_t use-rng $rng1
$arrival_t set avg_ 10
$arrival_t set shape_ 1
set rng2 [new RNG]
$rng2 seed 1
set pktSize [new RandomVariable/Exponential]
$pktSize use-rng $rng2
$pktSize set avg_ 10
$pktSize set shape_ 1
set null [new Agent/Null]
$ns attach-agent $dest $null
$ns connect $udp $null
```

Результат имитационного моделирования при обработке трафика модели M/M/1 представлен на рисунке 2.

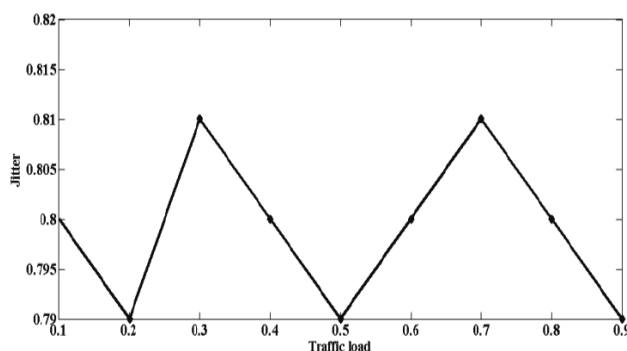


Рисунок 2. Результаты имитационного моделирования системы M/M/1

Пример 2. Модель трафика с распределением Парето интервалов времени между пакетами. Таковую систему можно обозначить как P/M/1. Распределение Парето имеет вид

$$f(x) = \frac{\alpha\beta^\alpha}{x^{\alpha+1}}, \quad (3)$$

где α – параметр формы; β – масштабный параметр. Система P/M/1 смоделирована аналогично подходу, реализованному в [6]. Параметры моделирования: $\alpha=2$, $\beta=1$.

В программе ns2 случайные величины с распределением Парето задаются следующим кодом:

```
set udp [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $s2 $udp
set rng1 [new RNG]
$rng1 seed 1
set arrival_t [new RandomVariable/Pareto]
$arrival_t use-rng $rng1
$arrival_t set avg_ 10
$arrival_t set shape_ 2
```

При обработке трафика с распределением Парето для интервалов времени между пакетами изменение джиттера в зависимости от нагрузки показано на рисунке 3.

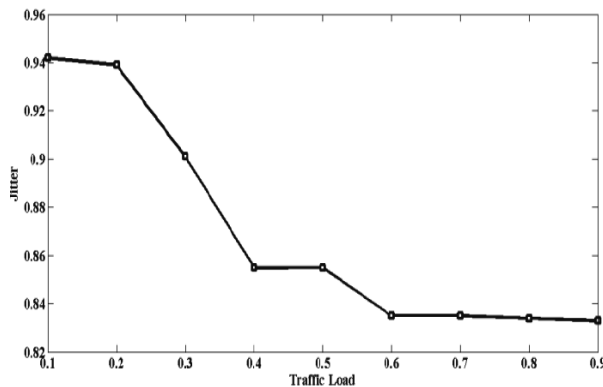


Рисунок 3. Результаты имитационного моделирования системы P/M/1

Можно заметить, что с увеличением нагрузки джиттер незначительно уменьшается.

Пример 3. Модель трафика с распределением Вейбулла для интервалов времени между пакетами. Такую систему можно обозначить как W/M/1. Распределение Вейбулла есть

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right), \quad (4)$$

где α – параметр формы, β – масштабный параметр. Для распределения Вейбулла были рассмотрены два набора параметров: 1) $\alpha=2$, $\beta=1$; 2) $\alpha=3$, $\beta=1$ (при $\alpha=1$, $\beta=1$ распределение Вейбулла вырождается в экспоненциальное). Полученные результаты не имеют заметных различий, поэтому на рисунке 4 представлены результаты только для $\alpha=2$, $\beta=1$.

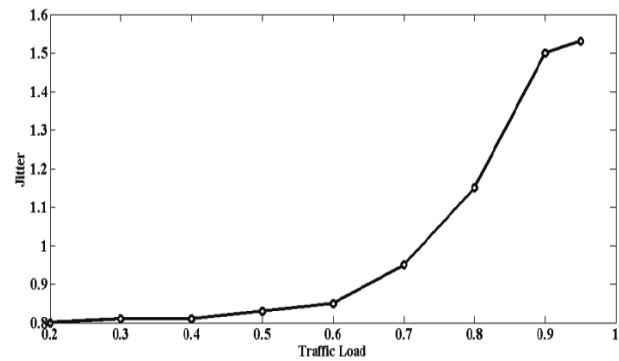


Рисунок 4. Результаты имитационного моделирования системы W/M/1

В данном случае наблюдаем заметный рост джиттера при увеличении нагрузки.

Пример 4. Трафик, зарегистрированный на реальной сети. Данный поток задается в ns2 следующим образом:

```
set udp1 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $s2 $udp1
set ss_file2 [new Application/Traffic/Trace]
set trace2 [new Tracefile]
$trace2 filename iptv.dat
$ss_file2 attach-tracefile $trace2
$ss_file2 attach-agent $udp1
set null1 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $dest2 $null1
$ns connect $udp2 $null1
```

Как было указано выше, интервалы времени между пакетами для данного трафика лучше всего аппроксимируются распределением Dagum, которое имеет вид

$$f(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha k-1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right)^{k+1}}, \quad (5)$$

где $k>0$ и $\alpha>0$ – параметры формы; $\beta>0$ – масштабный коэффициент; γ – параметр сдвига.

Область определения функции $\gamma \leq x < \infty$ с параметрами $k=0,083$; $\varepsilon=5,9$; $\beta=0,0014$; $\gamma=0$. На рисунке 5 показано изменение джиттера задержки пакетов реального трафика в процессе имитационного моделирования. Начальные выбросы характеризуются неустановившимся режимом в начале работы системы (переходным режимом). В установившемся режиме также наблюдается сильное изменение задержки, а следовательно, и джиттера. Анализируя данные рисунка 5, можно заметить корреляцию поведения задержки и джиттера.

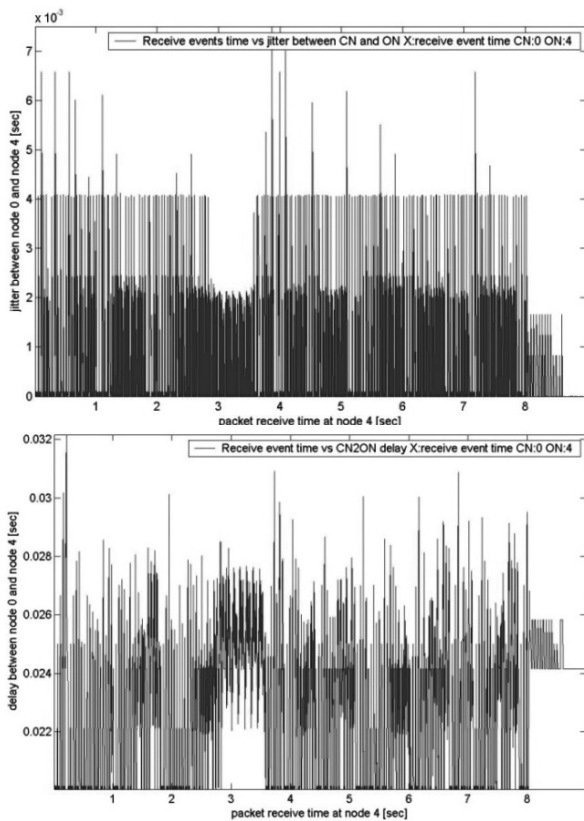


Рисунок 5. Результаты имитационного моделирования обработки реального трафика

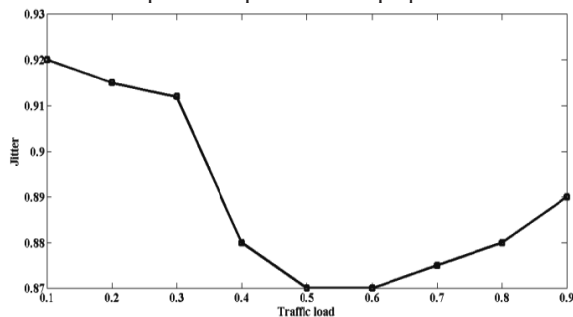


Рисунок 6. Изменение джиттера задержки пакетов в зависимости от загрузки сети для реального трафика Dagum

Результаты исследования реального трафика (когда в качестве произвольного распределения выступает распределение Dagum) показаны на рисунке 6.

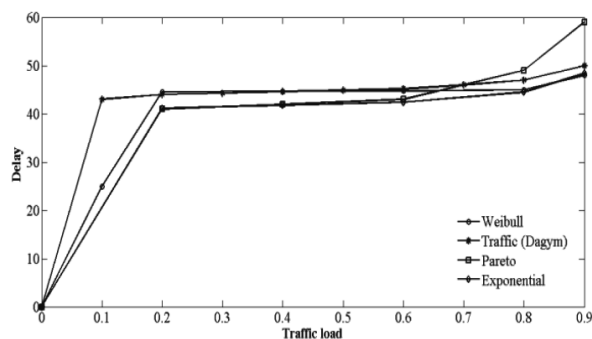


Рисунок 7. Изменение задержки пакетов в зависимости от загрузки сети

Кроме того, в процессе эксперимента была оценена задержка для всех рассмотренных случаев. На рисунке 7 представлены результаты по задержке при имитационном моделировании исследуемых потоков.

Обратим внимание, что при снижении нагрузки задержка обращается в ноль, а при увеличении нагрузки возрастает, и при $\rho \approx 1$ задержка стремится к ∞ . В тоже время поведение джиттера сильно отличается от поведения задержки. Можно заметить, что в случае обработки всех рассмотренных типов трафика джиттер не обращается в ноль при $\rho \approx 0$ и не становится бесконечным при $\rho \approx 1$.

Аналитическая оценка джиттера задержки передачи пакетов для различных типов трафика

Для построения аналитических оценок джиттера при экспоненциальном распределении длительности пакетов воспользуемся результатом, приведенным в [12], при этом джиттер определяется согласно [2] по формуле (1). Для среднего значения джиттера справедливо

$$J = \int_0^\infty f_R(y) \left\{ \int_0^\infty f_S(z) \left[\int_0^y |z-x| f_T(x) dx + |z-y| \int_y^\infty f_T(x) dx \right] dz \right\} dy, \quad (6)$$

где $f_R(y)$ - функция плотности вероятности (ФПВ) для интервалов времени между пакетами; $f_S(z)$ - ФПВ времени обслуживания; $f_T(x)$ - ФПВ времени передачи. Для системы G/M/1 (6) примет вид

$$J = \frac{(\eta^2 + \mu^2)}{\eta\mu(\eta + \mu)} + \frac{2}{(\eta + \mu)} \mathcal{F}_R(\eta + \mu) - \frac{1}{\eta} \mathcal{F}_R(\eta), \quad (7)$$

где $\mathcal{F}_R(s)$ - преобразование Лапласа ФПВ распределения $R(y)$ - интервалов времени между пакетами,

$$\mathcal{F}(s) = \int_0^\infty f(x) e^{-sx} dx, \quad (8)$$

η - скорость передачи пакета, определяемая как $\eta = \mu(1 - \rho)$, где ρ - параметр нагрузки, имеющий в данном изложении смысл вероятности ожидания и определяемый как $\rho = \lambda/\mu$, μ - интенсивность обслуживания пакетов.

Как было показано выше, в качестве примеров произвольного распределения были рассмотрены экспоненциальное, Парето, Вейбулла. Произведем оценку джиттера в системе G/M/1 для выбранных распределений.

Пример 5. Экспоненциальное распределение для времени между поступлениями пакетов соответствует ФПВ вида

$$f_R(y) = \lambda e^{-\lambda y}, \quad (9)$$

где $\eta = \mu - \lambda$. Преобразования Лапласа в этом случае

$$\mathcal{F}_R(s) = \frac{\lambda}{\lambda + s} \quad (10)$$

и для джиттера из (7) можно получить

$$J = \frac{1}{\mu}. \quad (11)$$

На рисунке 8 показано изменение джиттера в зависимости от нагрузки в случае обработки трафика в системе M/M/1.

Пример 6. Распределение Парето. Для этого случая в [12] оценка джиттера производится с учетом того, что преобразование Лапласа имеет вид

$$\mathcal{F}_R(s) = \alpha E_{\alpha+1}(s, \beta), \quad (12)$$

где $E_n(x) = \int_1^{\infty} \frac{e^{-xt}}{t^n} dt$ – интегральная показательная функция. Подстановка (12) в (7) дает результат [12], представленный в графическом виде на рисунке 8.

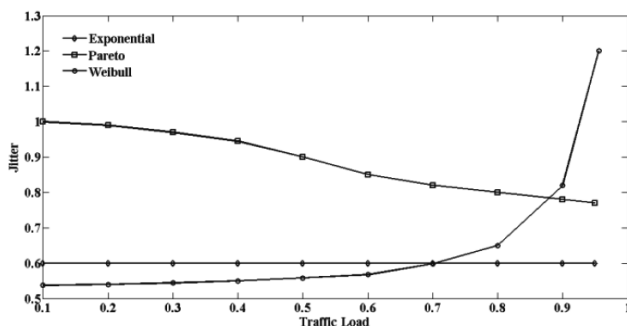


Рисунок 8. Изменение джиттера задержки пакетов в зависимости от загрузки сети при аналитическом моделировании

Пример 7. Распределение Вейбулла. Для $f(x)$ из (4) запишем согласно (8)

$$\mathcal{F}(s) = \alpha \beta \int_0^{\infty} x^{\beta-1} e^{-\alpha x^{\beta} - sx} dx. \quad (13)$$

Аналогично проведенному в первом разделе эксперименту рассмотрим три набора параметров распределения Вейбулла. Получим при $\alpha=1$; $\beta=1$:

$$\mathcal{F}(s) = \frac{1}{s+1}; \quad (14)$$

при $\alpha=2$; $\beta=1$:

$$\mathcal{F}(s) = \frac{2}{s+2}; \quad (15)$$

при $\alpha=3$; $\beta=1$:

$$\mathcal{F}(s) = \frac{3}{s+3}. \quad (16)$$

Изменение параметра α , как и в случае имитационного моделирования, не приводит к какому-либо заметному изменению значения джиттера. Поэтому на рисунке 8 приведена только одна зависимость: при $\alpha=2$, $\beta=1$.

Проанализируем полученные результаты. В работе рассмотрено две модели трафика, где интервалы времени между пакетами описываются распределениями с тяжелыми хвостами, это распределения Парето и Вейбулла. Сравнение результатов оценки джиттера при данных распределениях представляет определенный интерес. Анализируя зависимости, представленные на рисунках 3, 4 и 8, можно заметить, что в системе P/M/1 джиттер уменьшается с увеличением нагрузки, тогда как в системе W/M/1 с увеличением нагрузки джиттер растет.

И, хотя в отличие от задержки при $\rho \approx 1$ джиттер не стремится к бесконечности, его поведение кардинально отличается от поведения при других распределениях.

Причину данного эффекта можно найти, проанализировав законы распределения случайных величин Парето и Вейбулла. В случае распределения Парето дисперсия случайной величины имеет вид $\sigma^2 = \frac{\alpha \beta^2}{(\alpha-1)^2(\alpha-2)}$, и при выбранном наборе параметров $\alpha=2$, $\beta=1$ дисперсия случайной величины будет стремиться к бесконечности. Для распределения Вейбулла дисперсия $\sigma^2 = \beta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)\right)^2 \right]$, где $\Gamma(x)$ – гамма-функция, при выбранных α и β будет конечной величиной [16].

Следует учесть, что распределение Парето предполагает, что вероятность случайной величины, а в нашем случае это интервалы времени между пакетами, имеет наибольшее значение в области малых значений. Следовательно, в области малых значений интервалов времени будут сосредоточены высокие скорости потока, и как следствие увеличится размер очереди при обработке и задержка. Большая задержка, связанная в основном с увеличением времени ожидания в очереди, как правило, для всех пакетов одинакова. В целом это приводит к снижению изменения задержки, то есть джиттера.

В случае распределения Вейбулла наибольшую вероятность будут иметь интервалы времени между пакетами, лежащие в области более

высоких значений по сравнению с распределением Парето, что в сравнении уменьшает скорость потока. В тоже время распределение Вейбулла – это распределение с тяжелым хвостом, что по сравнению с распределением Парето увеличивает долю больших и малых интервалов времени. Можно предположить, что это вызовет эффект сильной неравномерности загрузки сетевых узлов, что приведет к большому разбросу значений задержки и как следствие – к увеличению джиттера.

Заключение

В работе предложены методы оценки джиттера для системы очередей G/M/1. В качестве примеров произвольного распределения интервалов времени между пакетами использованы экспоненциальное, Парето и Вейбулла распределения. Предложена методика оценки джиттера с использованием имитационной модели, при реализации которой использовались указанные распределения. По результатам имитационного моделирования сделаны следующие выводы.

1. Увеличение загрузки сети в системе M/M/1 не оказывает серьезного влияния на джиттер.

2. В системе очередей P/M/1 джиттер уменьшается при загрузке до 0,6 и незначительно увеличивается при дальнейшем росте загрузки.

3. В системе очередей W/M/1 джиттер с увеличением загрузки сети увеличивается, но не обращается в бесконечность.

Данные результаты в целом согласуются с аналитической оценкой джиттера.

Следует заметить, что при этом наблюдается некоторое отклонение результатов имитационного моделирования от аналитических результатов. Это может быть вызвано несколькими причинами, главная из которых видится в отсутствии учета корреляционных свойств потоков и характеристик сетевого канала в аналитической модели. Это весьма важная задача, сопряженная с определенными трудностями, которая требует дальнейшего исследования. Кроме того, важной перспективной задачей является анализ поведение джиттера при обработке трафика в модели очереди G/G/1.

Литература

- Demichelis C., Chimento P. IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM). Institution IETF, RFC 33934. – 2000. – 21 p. DOI: 10.17487/RFC3393.
- Internet protocol data communication service IP packet transfer and availability performance parameters. ITU-T Recommendation Y.1540. – 2002. – 33 p. // URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-I.380-199902-S/en> (д.о. 10.07.2018).
- Le Gall P. The theory of networks of single server queues and the tandem queue model // *Journal of Applied Mathematics and Stochastic Analysis*. – 1997. – Vol. 10 (4). – P. 363-381.
- Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. – М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.
- Буранова М.А. Исследование статистических характеристик самоподобного телекоммуникационного трафика // *Инфокоммуникационные технологии*. – 2012. – Т. 10. – № 4. – С. 35-40.
- Downey A. Lognormal and Pareto distributions in the Internet // *Computer Communications*. – 2005. – Vol. 28, No 7. – P. 790-801.
- Специальная радиосвязь. Развитие и модернизация оборудования и объектов. Под. ред. А.Л. Бузова, С.А. Букашкина. – М.: Радиотехника, 2017. – 448 с.
- Le Gall P. Single server queuing networks with varying service times and renewal input // *Journal of Applied Mathematics and Stochastic Analysis*. – 2000. – Vol. 13(4). – P. 429-450. DOI: 10.1155/S1048953300000368.
- Dahmouni H., Girard A., Sanso B. An analytical model for jitter in IP networks. // *Annals of telecommunications*. – 2012. – Vol. 67. – Issue 1-2. – P. 81-90. DOI: 10.1007/s12243-011-0254-y.
- Matragi W., Bisdikian C., Sohraby K. Jitter calculus in ATM networks: single node case // *Proc. IEEE INFOCOM' 94, Toronto, 1994*. – P. 232-241. DOI: 10.1109/infcom.1994.337612.
- Matragi W., Sohraby K., Bisdikian C. Jitter calculus in ATM networks: multiple node case // *IEEE/ACM Trans Netw5*. – 1997. – P. 122-133. DOI: 10.1109/infcom.1994.337611.
- Goldstein A., Yanovsky G. Traffic Engineering in MPLS Tunnels// *International Conference on «Next Generation Teletraffic and Wired/Wireless Advanced Networking (NEW2AN'04)»*. February 02-06, 2004. – P. 200-202.
- Dbira H., Girard A., Sanso B. Calculation of packet jitter for non-poisson traffic // *Annals of telecommunications*. – 2016. – Vol. 71. – Issue 5-6. – P. 223-237. DOI: 10.1007/s12243-016-0492-0.
- Гольдштейн А. В. Механизм эффективного туннелирования в сети MPLS // *Вестник связи*. – 2004. – № 2. – С. 48-54.
- Kartashevskii V.G., Kireeva N.V., Buranova, M.A., Chupakhina, L.R. Study of queuing system G/G/1

with an arbitrary distribution of time parameter system // 2nd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2015 – Conference Proceedings. – 2015. – P. 145-148. DOI: 10.1109/infocommst.2015.7357297.

16. Kartashevskii V.G., Buranova M.A. Analysis of Packet Jitter in Multiservice Network // 5th

International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 DOI: Conference Proceedings. – 2018.

Получено 22.11. 2018

Буранова Марина Анатольевна, к.т.н., доцент кафедры Информационной безопасности (ИБ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 339-11-67. E-mail: buranova-ma@psuti.ru

Карташевский Вячеслав Григорьевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой ИБ ПГУТИ. Тел. (8-846) 333-53-50. E-mail: kartashevskiy-vg@psuti.ru

ANALYSIS OF GENERAL QUEUING SYSTEM WITH SELECTS FUNCTIONS

Buranova M.A., Kartashevskiy V.G.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: buranova-ma@psuti.ru, kartashevskiy-vg@psuti.ru

Delay and jitter are very important parameters that determine the quality of service of multi-service networks. They are of particular importance in networks with multimedia stream processing. In this paper, we consider the G/M/1 queue system and the problem of estimating jitter in this system. The paper presents an analytical model for estimating jitter delay when a network load changes. The results of an analytical model for estimating jitter delay in packet transmission are analyzed. An estimate of the packet delay in the simulation model was obtained depending on the network load for various variants of random distribution of time intervals between packets. A technique for estimating jitter in a simulation model was proposed where streams with exponential packet length distribution and exponential, Pareto and Wei-bull distributions of time intervals between packets, used as examples of random distribution, were processed. A comparison of the results of simulation modeling and analytical estimation of jitter is given.

Keywords: jitter, simulation, queuing systems, ns2, distribution of time intervals between packets

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.06

Buranova Marina Anatolievna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23 L. Tolstoy str., Samara, 443010, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Information Security, PhD in Technical Science, Associated Professor. Tel. +78463391167. E-mail: buranova-ma@psuti.ru

Kartashevskiy Vyacheslav Grigorievich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23 L. Tolstoy str., Samara, 443010, Russian Federation; Head of the Department of Information Security; Doctor of Technical Science, Professor. Tel. +78463331313. E-mail: kartash@psati.ru

References

1. Demichelis C, Chimento P. *IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)*, Institution IETF, RFC 33934, 2000. 21 p. DOI: 10.17487/RFC3393.
2. Internet protocol data communication service IP packet transfer and availability performance parameters, ITU-T Recommendation Y.1540, 2002. 33 p. Available at: <https://www.itu.int/rec/T-REC-I.380-199902-S/en>. (accessed 10.07.2018).
3. Le Gall P. The theory of networks of single server queues and the tandem queue model. *Journal of Applied Mathematics and Stochastic Analysis*, 1997, vol. 10, no. 4, pp. 363-381.
4. Sheluhin O.I., Tenyakshev A.M., Osin A.V. *Fraktalnie processy v telekommunikatsiyah [Fractal Processes in Telecommunications]*. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2003. 480 p.

5. Buranova M.A. Issledovanie statisticheskikh harakteristik samopodobnogo telekommunikacionnogo trafika [Research of statistical characteristics of the self-similar telecommunication traffic]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2012, vol. 10, no. 4, pp. 35-40.
6. Downey A. Lognormal and Pareto distributions in the Internet. *Computer Communications*. 2005, vol. 28, no 7, pp. 790–801.
7. Buzov A.L., Bukashkin S.A. *Spetsial'naya radiosvyaz'. Razvitie i modernizatsiya oborudovaniya i ob'ektov* [Special radio communication. Development and modernization of equipment and facilities]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2017. 448 p.
8. Le Gall P. Single server queuing networks with varying service times and renewal input. *Journal of Applied Mathematics and Stochastic Analysis*, 2000, vol. 13, no. 4, pp. 429-450. DOI: 10.1155/S1048953300000368.
9. Dahmouni H., Girard A., Sanso B. An analytical model for jitter in IP networks. *Annals of telecommunications*, 2012, vol. 67, no. 1-2, pp. 81-90. DOI: 10.1007/s12243-011-0254-y.
10. Matragi W., Bisdikian C., Sohraby K. Jitter calculus in ATM networks: single node case. *Proc. IEEE INFOCOM'94*, Toronto, 1994, pp. 232-241. DOI: 10.1109/infcom.1994.337612.
11. Matragi W., Sohraby K., Bisdikian C. Jitter calculus in ATM networks: multiple node case. *IEEE/ACM Trans Netw5*, 1997, pp. 122-133. DOI: 10.1109/infcom.1994.337611.
12. Goldstein A., Yanovsky G. Traffic Engineering in MPLS Tunnels. *International Conference on «Next Generation Teletraffic and Wired/Wireless Advanced Networking (NEW2AN'04)»*, February 02-06, 2004, pp. 200-202.
13. Dbira H., Girard A., Sanso B. Calculation of packet jitter for non-poisson traffic. *Annals of telecommunications*, 2016, vol. 71, issue 5-6, pp. 223-237. DOI: 10.1007/s12243-016-0492-0.
14. Goldstein A.B. Mekhanizm ehffektivnogo tunnelirovaniya v seti MPLS [The mechanism of effective tunneling in a network]. *Vestnik svyazi*, 2004, no. 2, pp. 48-54.
15. Kartashevskii G., Kireeva N.V., Buranova, M.A., Chupakhina, L.R. Study of queuing system G/G/1 with an arbitrary distribution of time parameter system. *2nd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2015*, 2015, pp. 145-148. DOI: 10.1109/infocommst.2015.7357297
16. Kartashevskii G., Buranova, M.A. Analysis of Packet Jitter in Multiservice Network. *5th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018*, 2018, (Unpublished).

Received 22.11. 2018

УДК 519.872

СТАЦИОНАРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕНАДЕЖНОЙ СИСТЕМЫ С ВЕТВЯЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ И УЧЕТОМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Песчанский А.И.

Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

E-mail: peschansky_sntu@mail.ru

Объектом исследования является система с ветвящейся структурой древовидного типа, в которой каждый элемент некоторого ранга управляет несколькими элементами более низкого ранга и управляется одним элементом более высокого ранга. В процессе функционирования системы ее элементы могут отказывать, но восстанавливать свои характеристики в результате ремонтных работ. Предполагается, что все случайные величины, описывающие систему, имеют распределения общего вида. Для улучшения надежностных и экономических стационарных показателей функционирования системы предлагается проводить предупредительное техническое обслуживание элементов со стратегией, известной как «восстановление в зависимости от возраста». В этом случае получены итерационные формулы для расчета коэффициента технического использования, среднего удельного дохода и средних удельных затрат системы, которые позволяют находить оптимальные сроки проведения технического обслуживания ее элементов.

Ключевые слова: линейная ветвящаяся структура, техническое обслуживание «по возрасту», стационарный коэффициент технического использования, средний удельный доход, средние удельные затраты, оптимизация сроков проведения технического обслуживания

Введение

Многие технические системы имеют иерархическую или ветвящуюся структуру, в которой каждому элементу некоторого ранга непосредственно подчинено несколько элементов более низкого ранга. Примерами являются системы обработки данных, системы и сети связи, транспортные и ресурсо-снабжающие сети (трубопроводные, электрические, энергетические и т.д.). Обеспечение работоспособности таких систем является важной задачей [1-4]. Основное внимание исследователей сосредоточено на двух направлениях: разработка эффективных методов вычисления характеристик, существенных для анализа надежности и эффективности структур; разработка методов повышения надежности и улучшения экономических показателей таких структур [5-10].

Целью статьи является построение итерационного процесса расчета стационарных надежных и экономических характеристик линейной сетевой структуры древовидного типа с учетом проведения технического обслуживания ее элементов. Предполагается, что времена безотказной работы и восстановления элементов

суть случайные величины с функциями распределения общего вида.

Отметим, что в линейной структуре каждый ее элемент имеет связь только с элементами соседних рангов, но не имеет связей в пределах одного ранга и через несколько рангов. В статье рассматривается стратегия обслуживания, известная в литературе под названием «восстановление в зависимости от возраста» [9], или «правило предупредительных замен» [10].

Для однокомпонентных систем данная стратегия исследована в [8-10], а для многокомпонентной системы с монотонной структурой – в [11-13].

Постановка задачи

Рассмотрим ненадежную систему с ветвящейся структурой (см. рисунок 1), где головной элемент a_0 связан с a_1 элементами первого ранга, каждый из которых в свою очередь связан с a_2 элементами второго ранга и т.д.

Каждый из элементов предпоследнего ($n-1$) ранга связан с a_n элементами последнего n -го ранга, которые называют выходными.

Число элементов i -го ранга равно
$$N_i = \prod_{k=1}^i a_k, \quad i = \overline{1, n}.$$

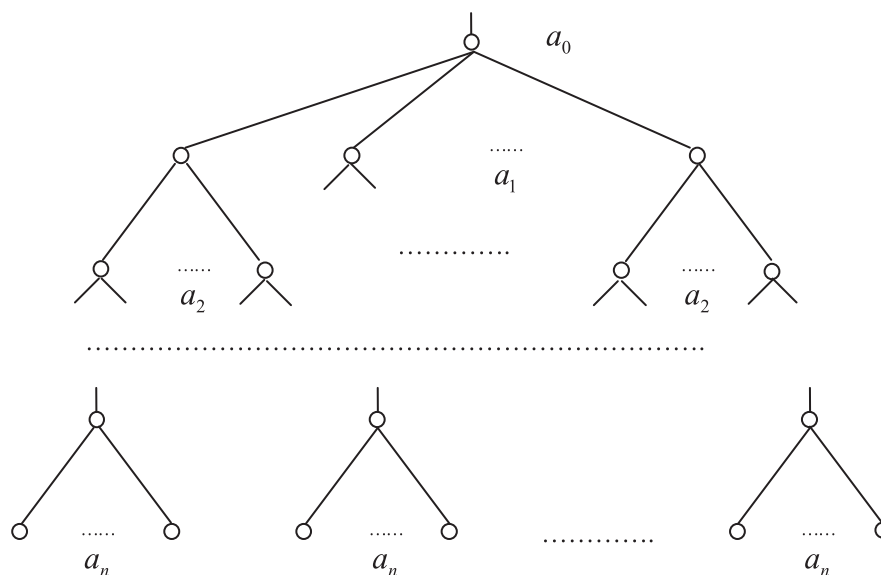


Рисунок 1. Схема линейной однородной ветвящейся структуры

Будем рассматривать однородную систему: это означает, что элементы одного ранга однотипны. Пусть α_i – время безотказной работы элемента i -го ранга с функцией распределения $F_i(t) = P(\alpha_i \leq t), i = \overline{0, n}$; а β_i – время восстановления элемента i -го ранга с функцией распределения $G_i(t) = P(\beta_i \leq t), i = \overline{0, n}$. Предположим, что указан-

ные случайные величины имеют конечные математические ожидания: $E\alpha_i$ и $E\beta_i$ соответственно.

Отказ любого элемента системы, который будем называть аварийным, обнаруживается мгновенно и сразу же начинается его восстановление. В момент аварийного отказа элемента прекращается как работа, так и восстановление всех связанных с ним элементов, кото-

рым он предшествует. Также отключаются все элементы, которые предшествуют отказавшему элементу и не принадлежат более ни одному работоспособному пути. Под работоспособным путем подразумевается цепочка функционально связанных работающих элементов от головного элемента до одного из выходных.

В момент включения в систему восстановившегося элемента одновременно с ним включаются и те, ранее отключенные работоспособные элементы, которые вместе с восстановленным элементом образуют работоспособный путь. При этом их уровень работоспособности такой же, каким он был при отключении. Кроме этого, продолжается восстановление отключенных элементов, связанных функционально с восстановленным элементом.

Система считается отказавшей, если она не содержит ни одного работоспособного пути от головного элемента до выходного. В этот момент все оставшиеся работоспособные элементы отключаются. Итерационный процесс расчета стационарного коэффициента готовности такой системы построен в [14].

Одним из методов повышения надежности и эффективности описанной системы может быть предупредительное техническое обслуживание (ТО) каждого элемента системы со стратегией «восстановление в зависимости от возраста» [9]. Суть этой стратегии заключается в том, что если элемент после завершения очередных восстановительных работ проработал некоторый заранее заданный промежуток времени, то проводится его предупредительное техническое обслуживание.

В начальный момент времени $t = 0$ начинается эксплуатация системы и назначается допустимый уровень наработки (возраст) $\tau_i, i = \overline{0, n}$ элемента системы, одинаковый для всех элементов i -го ранга. Если после завершения восстановительных работ элемент проработал без отказа время τ_i , то проводится плановое ТО элемента, которое его полностью обновляет.

Так же, как и в моменты аварийного отключения, в моменты начала ТО элемента и его завершения происходит отключение и включение функционально связанных с ним элементов.

Длительность ТО – это случайная величина β_i^p с функцией распределения $G_i^p(t) = P(\beta_i^p \leq t)$, $i = \overline{0, n}$ и конечным математическим ожиданием $E\beta_i^p$. Если до назначенного момента времени τ_i элемент системы отказывает, то начинается его аварийное восстановление, в результате которого элемент также полностью обновляется, и весь процесс обслуживания элемента повторяется заново.

Предполагаются известными следующие экономические показатели элементов системы: c_i – доход в единицу времени безотказной работы элемента i -го ранга, $i = \overline{0, n}$; c_i^0 – затраты в единицу време-

ни аварийного восстановления элемента i -го ранга, $i = \overline{0, n}$; c_i^p – затраты в единицу времени технического обслуживания элемента i -го ранга, $i = \overline{0, n}$.

Целью работы является определение следующих показателей качества функционирования системы:

- стационарного коэффициента технического использования системы $K(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n)$;
- среднего удельного дохода $S(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n)$ системы, приходящегося на единицу календарного времени;
- средних удельных затрат $C(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n)$, приходящихся на единицу времени исправного функционирования системы.

Также требуется определить оптимальные сроки τ_i проведения технического обслуживания элементов системы, при которых показатели качества функционирования системы принимают наилучшие значения.

Определение стационарных характеристик системы

Построим итерационный процесс расчета стационарных показателей системы. Для этого введем следующие обозначения: $K_i(\tau_i)$ – коэффициент готовности элемента i -го ранга, $i = \overline{0, n}$; $S_i(\tau_i)$ – средний удельный доход в единицу времени функционирования элемента i -го ранга, $i = \overline{0, n}$; $C_i(\tau_i)$ – средние удельные затраты в единицу времени исправного функционирования элемента i -го ранга, $i = \overline{0, n}$.

Данные характеристики элементов i -го ранга определяются следующими формулами [9-11]:

$$\begin{aligned} K_i(\tau_i) &= \frac{T_i^{(1)}(\tau_i)}{T_i^{(1)}(\tau_i) + T_i^{(0)}(\tau_i) + T_i^{(2)}(\tau_i)}; \\ S_i(\tau_i) &= \frac{c_i T_i^{(1)}(\tau_i) - c_i^0 T_i^{(0)}(\tau_i) - c_i^p T_i^{(2)}(\tau_i)}{T_i^{(1)}(\tau_i) + T_i^{(0)}(\tau_i) + T_i^{(2)}(\tau_i)}; \\ C_i(\tau_i) &= \frac{c_i^0 T_i^{(0)}(\tau_i) + c_i^p T_i^{(2)}(\tau_i)}{T_i^{(1)}(\tau_i)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $T_i^{(1)}(\tau_i) = \int_0^{\tau_i} \bar{F}_i(t) dt$ – среднее время работоспособности; $T_i^{(0)}(\tau_i) = F_i(\tau_i) E\beta_i$ – среднее время аварийного восстановления; $T_i^{(2)}(\tau_i) = \bar{F}_i(\tau_i) E\beta_i^p$ – среднее время ТО элемента i -го ранга на периоде регенерации, то есть между двумя соседними моментами начала работы элемента после завершения аварийного восстановления или ТО.

Далее введем аналогичные характеристики для одного семейства из a_i элементов, которые управляются одним и тем же элементом из $(i-1)$ -го ранга, $i = \overline{1, n}$ (см. рисунок 2).

Заметим, что семейство считается работоспособным, если работоспособен хотя бы один элемент этого семейства. Очевидно, что показатели будут

зависеть от сроков проведения ТО элементом i -го и всех последующих рангов. Обозначим $K^{(i)}(\tau_i, \dots, \tau_n)$ – коэффициент технического использования; $S^{(i)}(\tau_i, \dots, \tau_n)$ – средний удельный доход в единицу времени функционирования; $C^{(i)}(\tau_i, \dots, \tau_n)$ – средние удельные затраты в единицу времени исправного функционирования такого семейства.

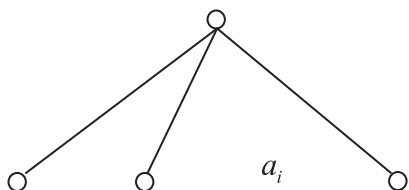


Рисунок 2. Схема семейства i -го ранга

При построении итерационных формул для определения стационарных показателей системы с ветвящейся структурой используем результаты [11], где при помощи аппарата теории полумарковских процессов с дискретно-непрерывным фазовым пространством состояний [15] получены расчетные формулы для нахождения стационарных характеристик ненадежной многокомпонентной системы с монотонной структурой с учетом ТО по возрасту и отключением элементов.

В частности, коэффициент технического использования K , средний удельный доход S и средние удельные затраты C системы, состоящей из N последовательных элементов, есть

$$K = \left[1 + \sum_{i=1}^N \frac{1-K_i}{K_i} \right]^{-1}; \quad (2)$$

$$S = K \sum_{i=1}^N \frac{S_i}{K_i}; \quad C = \sum_{i=1}^N C_i,$$

где K_i, S_i, C_i – характеристики элементов системы. В случае параллельного соединения элементов системы эти характеристики есть

$$K = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - K_i);$$

$$S = \sum_{i=1}^N S_i; \quad C = \frac{\sum_{i=1}^N C_i K_i}{K}. \quad (3)$$

Семейство из a_n выходных элементов n -го ранга, которые управляются одним и тем же элементом $(n-1)$ -го ранга, будет находиться в отказе, если откажут все элементы этого семейства.

Поэтому для определения стационарных характеристик такого семейства применим формулы (3) стационарных характеристик системы с параллельным соединением:

$$K^{(n)}(\tau_n) = 1 - [1 - K_n(\tau_n)]^{a_n};$$

$$S^{(n)}(\tau_n) = a_n S_n(\tau_n); \quad (4)$$

$$C^{(n)}(\tau_n) = \frac{a_n C_n(\tau_n) K_n(\tau_n)}{K^{(n)}(\tau_n)}.$$

При нахождении характеристик семейства элементов $(n-1)$ -го ранга, управляемых одним и тем же элементом $(n-2)$ -го ранга, применим комбинации формул характеристик системы с параллельным (3) и последовательным соединениями элементов (2).

Рассмотрим систему из параллельных элементов $(n-1)$ -го ранга, каждый из которых соединен последовательно с семейством элементов n -го ранга. В результате получим

$$K^{(n-1)}(\tau_{n-1}, \tau_n) = 1 - \left[1 - \left(1 + \frac{1 - K_{n-1}(\tau_{n-1})}{K_{n-1}(\tau_{n-1})} + \frac{1 - K^{(n)}(\tau_n)}{K^{(n)}(\tau_n)} \right)^{-1} \right]^{a_{n-1}};$$

$$S^{(n-1)}(\tau_{n-1}, \tau_n) = a_{n-1} \frac{\frac{S_{n-1}(\tau_{n-1})}{K_{n-1}(\tau_{n-1})} + \frac{S^{(n)}(\tau_n)}{K^{(n)}(\tau_n)}}{1 + \frac{1 - K_{n-1}(\tau_{n-1})}{K_{n-1}(\tau_{n-1})} + \frac{1 - K^{(n)}(\tau_n)}{K^{(n)}(\tau_n)}};$$

$$C^{(n-1)}(\tau_{n-1}, \tau_n) = a_{n-1} \frac{\frac{C_{n-1}(\tau_{n-1}) + C^{(n)}(\tau_n)}{1 + \frac{1 - K_{n-1}(\tau_{n-1})}{K_{n-1}(\tau_{n-1})} + \frac{1 - K^{(n)}(\tau_n)}{K^{(n)}(\tau_n)}}}{1 - \left[1 - \left(1 + \frac{1 - K_{n-1}(\tau_{n-1})}{K_{n-1}(\tau_{n-1})} + \frac{1 - K^{(n)}(\tau_n)}{K^{(n)}(\tau_n)} \right)^{-1} \right]^{a_{n-1}}}.$$

Для семейства элементов m -го ранга, где $m = \overline{1, n-1}$, имеют место аналогичные соотно-

шения, которые после ряда преобразований принимают следующий вид:

$$K^{(m)}(\tau_m, \dots, \tau_n) = 1 - \left[1 - \frac{K_m(\tau_m)K^{(m+1)}(\tau_{m+1}, \dots, \tau_n)}{K_m(\tau_m) + K^{(m+1)}(\tau_{m+1}, \dots, \tau_n) - K_m(\tau_m)K^{(m+1)}(\tau_{m+1}, \dots, \tau_n)} \right]^{a_m};$$

$$S^{(m)}(\tau_m, \dots, \tau_n) = \frac{a_m [S_m(\tau_m)K^{(m+1)}(\tau_{m+1}, \dots, \tau_n) + K_m(\tau_m)S^{(m+1)}(\tau_{m+1}, \dots, \tau_n)]}{K_m(\tau_m) + K^{(m+1)}(\tau_{m+1}, \dots, \tau_n) - K_m(\tau_m)K^{(m+1)}(\tau_{m+1}, \dots, \tau_n)}; \quad (5)$$

$$C^{(m)}(\tau_m, \dots, \tau_n) = \frac{a_m [C_m + C^{(m+1)}] [K_m + K^{(m+1)} - K_m K^{(m+1)}]^{a_m - 1}}{\sum_{i=0}^{a_m - 1} [K_m + K^{(m+1)} - 2K_m K^{(m+1)}]^i [K_m + K^{(m+1)} - K_m K^{(m+1)}]^{a_m - i - 1}}.$$

Характеристики головного элемента a_0 определяются с помощью формул для системы из последовательно соединенного головного элемента

и системы элементов первого ранга. Они являются характеристиками всей системы с ветвящейся структурой в целом и определяются формулами: При пас-

$$K(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n) = \frac{K_0(\tau_0)K^{(1)}(\tau_1, \dots, \tau_n)}{K_0(\tau_0) + K^{(1)}(\tau_1, \dots, \tau_n) - K_0(\tau_0)K^{(1)}(\tau_1, \dots, \tau_n)};$$

$$S(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n) = \frac{S_0(\tau_0)K^{(1)}(\tau_1, \dots, \tau_n) + K_0(\tau_0)S^{(1)}(\tau_1, \dots, \tau_n)}{K_0(\tau_0) + K^{(1)}(\tau_1, \dots, \tau_n) - K_0(\tau_0)K^{(1)}(\tau_1, \dots, \tau_n)}; \quad (6)$$

$$C(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n) = C_0(\tau_0) + \frac{a_1 [C_1 + C^{(2)}] [K_1 + K^{(2)} - K_1 K^{(2)}]^{a_1 - 1}}{\sum_{i=0}^{a_1 - 1} [K_1 + K^{(2)} - 2K_1 K^{(2)}]^i [K_1 + K^{(2)} - K_1 K^{(2)}]^{a_1 - i - 1}}.$$

сивной стратегии обслуживания, когда ТО элементов не проводится, в итерационные формулы (4)-(6) следует подставить следующие соотношения:

$$K_m = \frac{E\alpha_m}{E\alpha_m + E\beta_m}, \quad m = \overline{0, n};$$

$$K^{(n)} = 1 - \left[\frac{E\alpha_m}{E\alpha_m + E\beta_m} \right]^{a_n};$$

$$S_m = \frac{c_m E\alpha_m - c_m^0 E\beta_m}{E\alpha_m + E\beta_m}, \quad m = \overline{0, n};$$

$$S^{(n)} = a_n \frac{c_m E\alpha_m - c_m^0 E\beta_m}{E\alpha_m + E\beta_m};$$

$$C_m = \frac{c_m^0 E\beta_m}{E\alpha_m}, \quad m = \overline{0, n};$$

$$C^{(n)} = \frac{a_n c_n^0 E\beta_n}{K^{(n)}(E\alpha_n + E\beta_n)}.$$

Заметим, что в этом случае коэффициент готовности K совпадает с известной формулой в [14].

Частный случай системы

Рассмотрим систему с ветвящейся структурой, изображенной на рис.1, при условии, что все случайные величины, ее определяющие, имеют показательное распределение, а именно:

$$F_i(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}, \quad G_i(t) = 1 - e^{-\mu_i t}, \quad G_i^p(t) = 1 - e^{-\mu_i^p t},$$

$$i = \overline{0, n}.$$

В этом случае в (4)-(6) для вычисления стационарных характеристик системы следует полагать

$$K_m(\tau_m) = \left[\frac{\lambda_m + \mu_m}{\mu_m} + \frac{\lambda_m}{\mu_m^p} (e^{\lambda_m \tau_m} - 1)^{-1} \right]^{-1}, \quad m = \overline{0, n};$$

$$K^{(n)}(\tau_n) = 1 - \left[\frac{\frac{\lambda_n}{\mu_n} + \frac{\lambda_n}{\mu_n^p} (e^{\lambda_n \tau_n} - 1)^{-1}}{\frac{\lambda_n + \mu_n}{\mu_n} + \frac{\lambda_n}{\mu_n^p} (e^{\lambda_n \tau_n} - 1)^{-1}} \right]^{a_n};$$

$$S_m(\tau_m) = \frac{c_m \mu_m - c_m^0 \lambda_m - \frac{c_m^p \lambda_m \mu_m}{\mu_m^p} (e^{\lambda_m \tau_m} - 1)^{-1}}{\lambda_m + \mu_m + \frac{\lambda_m \mu_m}{\mu_m^p} (e^{\lambda_m \tau_m} - 1)^{-1}}, \quad m = \overline{0, n}; \quad S^{(n)}(\tau_n) = a_n S_n(\tau_n);$$

$$C_m(\tau_m) = \frac{c_m^0 \lambda_m}{\mu_m} + \frac{c_m^p \lambda_m}{\mu_m^p} (e^{\lambda_m \tau_m} - 1)^{-1}, \quad m = \overline{0, n};$$

$$C^{(n)}(\tau_n) = \frac{a_n}{K^{(n)}(\tau_n)} \frac{\frac{c_n^0 \lambda_n}{\mu_n} + \frac{c_n^p \lambda_n}{\mu_n^p} (e^{\lambda_n \tau_n} - 1)^{-1}}{1 + \frac{\lambda_n}{\mu_n} + \frac{\lambda_n}{\mu_n^p} (e^{\lambda_n \tau_n} - 1)^{-1}}.$$

Оптимизация периодичности проведения ТО элементов системы

Стационарные характеристики (6) системы с ветвящейся структурой явно зависят от пороговых значений возрастов элементов, при достижении которых принимается решение о проведении ТО. Поэтому задача определения оптимальных сроков проведения ТО элементов системы сводится к задаче нахождения точек абсолютного экстремума выбранной критериальной функции:

$$K(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n) \rightarrow \max_{\tau_i \in (0, \infty); i = \overline{0, n}};$$

$$S(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n) \rightarrow \max_{\tau_i \in (0, \infty); i = \overline{0, n}}.$$

$$C(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n) \rightarrow \min_{\tau_i \in (0, \infty); i = \overline{0, n}}.$$

Приравнявая к нулю частные производные функций $K(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n)$, $S(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n)$ и $C(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n)$, получаем соответственно системы уравнений, которым удовлетворяют оптимальные значения наработок:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \tau_i} K(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n) &= 0, \quad i = \overline{0, n}; \\ \frac{\partial}{\partial \tau_i} S(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n) &= 0, \quad i = \overline{0, n}; \\ \frac{\partial}{\partial \tau_i} C(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n) &= 0, \quad i = \overline{0, n}. \end{aligned} \quad (7)$$

Можно показать, что система уравнений (7) для определения критических точек функции $K(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n)$ равносильна системе уравнений

$$\frac{\partial K_i(\tau_i)}{\partial \tau_i} = 0, \quad i = \overline{0, n}.$$

Таким образом, система будет иметь максимальный коэффициент использования при таких сроках проведения ТО, при которых достигается максимальное значение коэффициента технического использования каждого элемента системы.

Заметим, что техническое обслуживание не всегда приводит к улучшению стационарных характеристик системы. Так, в случае показательного распределения всех случайных величин, описывающих систему, проведение ТО элементов только снижает коэффициент технического использования. Положительный эффект от проведения ТО следует ожидать в том случае, когда со временем возрастает интенсивность отказов элементов, а затраты и время на проведение их ТО значительно меньше соответствующих показателей в случае аварийных отказов.

Численный пример

Рассмотрим линейную однородную систему с ветвящейся структурой, которая содержит элементы четырех рангов ($n = 3$). Времена безотказной работы α_i , аварийного восстановления β_i и технического обслуживания β_i^p имеют соответственно распределения Эрланга с функциями распределения:

$$F_i(t) = 1 - e^{-\lambda_i t} \sum_{j=0}^3 \frac{(\lambda_i t)^j}{j!}, \quad G_i(t) = 1 - e^{-\mu_i t} \sum_{j=0}^2 \frac{(\mu_i t)^j}{j!},$$

$$G_i^p(t) = 1 - e^{-\mu_i^p t} \sum_{j=0}^4 \frac{(\mu_i^p t)^j}{j!}.$$

В таблице 2 через K^∞ , S^∞ , C^∞ обозначены показатели качества функционирования системы в случае, когда используется пассивная стратегия обслуживания, то есть ТО элементов не проводится.

Таблица 1. Исходные данные системы для численного примера

№ ранга	Число элементов в семействе ранга	Среднее время безотказной работы $M\alpha_i$, сут	Среднее время восстановления $M\beta_i$, сут.	Среднее время ТО $M\beta_i^p$, час	Доход элемента c_i , ден. ед./мес.	Затраты на восстановление c_i^0 , ден. ед./мес.	Затраты на ТО c_i^p , ден. ед./мес.
0	$a_0 = 1$	400	8,6	21,3	1500	1800	500
1	$a_1 = 3$	150	6,0	19,3	1200	1400	300
2	$a_2 = 3$	109	4,6	18,8	1000	1000	200
3	$a_3 = 2$	92,3	3,8	17,3	1000	700	200

Таблица 2. Результаты оптимизации характеристик системы по различным критериям

№ ранга	τ_i^K , сут.	K^{\max}	K^∞	τ_i^S , сут.	S^{\max} , ден. ед./мес.	S^∞ , ден. ед./мес.	τ_i^C , сут.	C^{\min} , ден. ед./мес.	C^∞ , ден. ед./мес.
0	131,8	0,987	0,969	129,6	29050,7	25641,4	83,1	320,6	1443,0
1	55,1			52,6			27,9		
2	44,7			40,1			22,9		
3	40,1			34,0			23,5		

Проведение ТО элементов при достижении времен безотказной работы элементов τ_i^K , τ_i^S , τ_i^C , $i = 0, 3$; в зависимости от выбранного критерия, улучшает эти показатели соответственно на 1,86%; 13,30% и 77,78%.

Выводы

В статье представлен итерационный процесс расчета стационарных надежностьстных и экономических характеристик ненадежной системы с линейной однородной ветвящейся структурой с учетом проведения технического обслуживания ее элементов по возрасту.

На примере системы с конкретной сетевой структурой показана возможность определения оптимальных сроков проведения технического обслуживания. При этом коэффициент технического использования системы увеличивается незначительно, но доходность системы может быть значительно увеличена, а затраты существенно снижены.

Заметим, что по аналогичной методике можно получить расчетные формулы для стационарных характеристик системы в случае других стратегий проведения ТО ее элементов и выбрать оптимальную из них.

Литература

1. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочник в 4 т. Под ред. Ю.Н. Руденко. Т.1. Справочник по общим моделям анализа и синтеза надежности систем энергетики. – М: Энергоатомиздат, 1994. – 472 с.
2. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочник в 4 т. Под общ. ред. Ю.Н. Руденко. Т.4. Надежность систем теплоснабжения. – Новосибирск: Наука, 2000. – 351 с.
3. Сеннова Е.В., Кирбхин С.Н., Шиманская А.О. Методология и алгоритм расчета показателей надежности теплоснабжения потребителей и резервирования тепловых сетей при разработке схем теплоснабжения // Новости теплоснабжения // URL: <http://www.nts.ru/> (д.о. 16.10.2018).
4. Скворцов М.С. Методика оптимизации систем с сетевой структурой // Труды СПИИРАН. – 2011. – Вып. 1(16). – С.231-242.
5. Черкесов Г.Н. Оценка надежности систем с учетом ЗИП. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 480 с.
6. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
7. Ushakov I.A. Probabilistic Reliability Models. – Wiley, 2012. – 248 p.

8. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
9. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. Пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
10. Барлоу Р., Хантер Л. Оптимальный порядок проведения профилактических работ // Оптимальные задачи надежности. Пер. с англ. – М.: Стандарты, 1968. – С. 244-255.
11. Песчанский А.И. Полумарковская модель технического обслуживания монотонной системы с учетом возраста и отключением ее элементов // Системные технологии. Сб. науч. тр. – Днепропетровск: 2009. – №2(61). – С. 29-41.
12. Obzherin Y. E., Peschansky A.I. Semi-Markovian Model of Monotonous System Maintenance with Regard to its Element Deactivation and Age // Applied Mathematics. – 2010. – Vol.1. – No. 3. – P. 234-243. DOI: 10.4236/am.2010.13029.
13. Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. Календарное техническое обслуживание систем с произвольной структурой // Кибернетика и системный анализ. – 2006. – №2. – С. 69-86.
14. Корлат А.Н., Кузнецов В.Н., Турбин А.Ф. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания. – Кишинев: Штиинца, 1991. – 209 с.
15. Королюк В.С., Турбин А.Ф. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем. – Киев: Наукова думка, 1982. – 236 с.

Получено 28.11.2018

Песчанский Алексей Иванович, д.т.н., профессор Кафедры высшей математики Севастопольского государственного университета. Тел. (8-846) 333-27-70. E-mail: peschansky_sntu@mail.ru

STATIONARY CHARACTERISTICS OF UNRELIABLE SYSTEM WITH BRANCHING STRUCTURE AND ELEMENTS' MAINTENANCE

Peschansky A.I.

Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: peschansky_sntu@mail.ru

The research object is a tree-system of the branching structure. Each element of any level controls several elements of a lower level and is controlled by one element of a higher level. The elements of the same rank are assumed to be of the same type. Any element failure of the system is detected instantly and its restoration begins immediately. During the element failure, all the following associated elements stop operating and being restored. It also disables all elements that precede the failed element and do not belong to any other operable path. When the element is restored, all the previously disabled functional elements, which form a workable path with the restored element, also begin operating. The system is considered to fail if there is not a single operable path connecting the main element and output. All the random variables describing the system are assumed to have distributions of general kind. To improve stationary reliability and economical indexes preventive maintenance is carried out according to the age strategy. By means of an apparatus of the theory of semi-Markov processes with a discrete-continuous set of states, iteration formulas for calculating operating efficiency, average specific income and average specific expenses are obtained. The expressions obtained for these stationary characteristics in explicit form allow to get optimal intervals of elements' maintenance. A numerical example of applying the obtained calculation formulas is given.

Keywords: *linear branching structure, age maintenance, stationary operating efficiency, average specific income, average specific expenses, optimization of preventive maintenance intervals*

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.07

Peschansky Alexey Ivanovich, Sevastopol State University, 33 Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation; Professor of the Department of Higher Mathematics, Doctor of Technical Science. Tel. +78463332770. E-mail: peschansky_sntu@mail.ru

References

1. Rudenko Yu. N. *Nadezhnost' sistem energetiki i ih oborudovaniya. Spravochnik po obshchim modelyam analiza i sinteza nadezhnosti sistem energetiki* [Reliability of energy systems and their equipment. Handbook of general models of analysis and synthesis of energy systems reliability]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1994. 472 p.

2. Rudenko Yu. N. Nadezhnost' sistem energetiki i ih oborudovaniya. Nadezhnost' system snabzheniya [Reliability of energy systems and their equipment. Reliability of heating systems]. Mos-cow, Nauka Publ., 2000. 351 p.
3. Sennova Ye.V., Kirbhin S.N., Shymanskaya A.O. Metodologiya i algoritm rascheta pokazateley nadezhnosti teplosnabzheniya potrebiteley i rezervirovaniya teplovyh setey pri razrabotke shem teplosnabzheniya [Methodology and algorithm for calculating indicators of reliability of heat supply to consumers and reservation of heat networks in the development of heat supply schemes]. *Novosti teplosnabzheniya*. Available at: <http://www.nts.ru/> (accessed: 16.10.2018).
4. Skvortsov M.S. Metodika optimizatsii sistem s setevoi strukturoy. [Methods of optimization of systems with network structure]. *Trudy SPIIRAN*, 2011, vol. 1, no. 16, pp. 231-242.
5. Cherkesov G.N. Otsenka nadezhnosti system s uchetom ZIP [Evaluation of systems' reliability with regard to spare parts and accessories]. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2012. 480 p.
6. Cherkesov G.N. *Nadezhnost' apparatno-programmykh kompleksov*. [Reliability of hardware and software systems. Tutorial]. St. Petersburg, Piter Publ., 2005, 479 p.
7. Ushakov I.A. *Probabilistic Reliability Models*. Wiley, 2012. 248 p.
8. Polovko A.M., Gurov S.V. *Osnovy teorii nadezhnosti* [Fundamentals of the reliability theory]. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2006. 704 p.
9. Baikhel't F., Franken P. *Nadezhnost' i tehnikeskoye obsluzhivaniye. Matematicheskiy podhod* [Reliability and maintenance. Mathematical approach]. Moscow, Radio i sviaz Publ., 1988. 392 p.
10. Barlow P., Hunter L. Optimal'nyi poryadok provedeniya profilakticheskikh rabot [Optimal order of preventive maintenance]. Optimal'nyye zadachi nadezhnosti. Moscow, Standarty Publ., 1968, pp. 244-255. (In Russian).
11. Peschansky A.I. Polumarkovskaya model' tehnikeskogo obsluzhivaniya monotonnoy sistemy s uchetom vozrasta i otklyucheniye elementov [Semi-Markov model of maintenance of a monotonous system with regard to age and its elements' deactivation]. *Sistemnyye tehnologii*, 2009, vol. 61, no. 2, pp. 29-41.
12. Obzherin Y.E., Peschansky A.I. Semi-Markovian Model of Monotonous System Maintenance with Regard to its Element Deactivation and Age. *Applied Mathematics*, 2010, vol. 1, no. 3, pp. 234-243. DOI: 10.4236/am.2010.13029.
13. Obzherin Y.E., Peschansky A.I. Kalendarnoye tehnikeskoye obsluzhivaniye sistem s proizvol'noy strukturoy [Calendar maintenance of systems with an arbitrary structure]. *Kibernetika i sistemnyy analiz*, 2006, no. 2, pp. 69-86.
14. Korlat A.N., Kuznetsov B.N., Novikov M.I., Turbin A.F. *Polumarkovskiy modeli vosstanavlivayemykh sistem i system massovogo obsluzhivaniya* [Semi-Markov models of restorable and queuing systems]. Kishinev, Shtiintsa Publ., 1991. 209 p. (In Russian).
15. Korolyuk V.S., Turbin A.F. *Protsessy markovskogo vosstanovleniya v zadachah nadezhnosti sistem* [Markovian restoration processes in the system reliability problems]. Kiev, Nauk. dumka Publ., 1982. 236 p. (In Russian).

Received 28.11.2018

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 681.518: 339.13

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ И КАСТОМИЗАЦИИ ИНТЕГРАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В ИНТЕРЕСАХ УПРАВЛЕНИЯ ИТ-КОМПАНИЕЙ

Димов Э.М., Маслов О.Н., Хаджиева С.В.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: ssv2507@mail.com

В современных условиях ИТ-компании системные интеграторы вынуждены бороться не только за возможность быть первыми на рынке с новым разработанным на инновационных технологиях продукте или сервисе, но и за такой важный ресурс, как персонал. Предметом исследования является процесс формирования команды, реализующей разработку и кастомизацию интеграционных решений, который протекает в сложной нерефлекторной системе социально-экономического типа. Для исследования влияния распределения исполнителей по командам на результат функционирования бизнес-процесса предложено использовать метод статистического имитационного моделирования по версии Димова-Маслова. Авторами изучена специфика деятельности ИТ-компаний при реализации современных интеграционных решений, описана модель функционирования исследуемого бизнес-процесса, описана постановка задач моделирования в интересах управления, которые можно решить с помощью

метода статистического имитационного моделирования. Использование рекомендаций по совершенствованию способов формирования команд, разрабатывающих интеграционные решения, на основании результатов имитационного моделирования позволит выявить узкие места, учесть влияние случайных факторов на бизнес-процесс разработки и кастомизации интеграционных решений, отследить подробную статистику и поведение системы во времени и проиграть сценарии при различных вариантах укомплектования команд.

Ключевые слова: статистическое имитационное моделирование, метод Димова-Маслова, нерелекторная система, формирование команды, ИТ-компания, системный интегратор, сервис-ориентированная архитектура

Введение

Для современного бизнеса умение сотрудников работать в команде приобретает очень большое значение. Команда, работающая слаженно, продвигает компанию вперед, в то время как плохо функционирующая команда препятствует развитию компании. По сравнению с административным управлением командный метод работы является более эффективным. Однако переход на него – процесс нелегкий, он требует перестройки мышления, поведения и способов принятия решений. Особенно остро вопросы командообразования и командоуправления стоят в сфере информационных технологий (ИТ), где имеет место высокая степень неопределенности в постановках задач от бизнес-заказчиков – лиц, принимающих решения (ЛПР) [1].

Целью исследования является совершенствование деятельности ИТ-компания путем повышения качества принимаемых управленческих решений при формировании команд, разрабатывающих интеграционные решения, на основе результатов статистического имитационного моделирования (СИМ) по методу Димова-Маслова (МДМ). В качестве объекта исследования рассматривается ИТ-компания системный интегратор. Предмет исследования – процесс формирования команды, реализующей разработку и кастомизацию интеграционных решений.

Кастомизация (customization) – это адаптация массового продукта под запросы конкретного бизнес-заказчика путем частичного изменения продукции под конкретный запрос. Термин происходит от английского customer – клиент, потребитель.

Статья посвящена важнейшему этапу СИМ по МДМ – постановке задачи моделирования исследуемого бизнес-процесса в интересах управления им. Данный этап содержит вербальное описание процесса работы системы управления с включением СИМ-модели в контур управления вместе с ЛПР-оператором для оперативного поиска и реализации воздействий, управляющих социально-экономической системой с целью обеспечения наивысшей эффективности ее функционирования в каждый текущий период времени.

Описание объекта исследования

Основные бизнес-процессы ИТ-компания представлены на рисунке 1. Такие компании разрабатывают и реализовывают собственные консалтинговые решения с одновременной интеграцией электронных приложений в рабочие процессы. Этим они отличаются от компаний, представляющих и продвигающих на ИТ рынке лишь какой-то определенный комплекс программного обеспечения, целенаправленно поставляя под него оборудование или оказывая услуги по его установке и наладке.

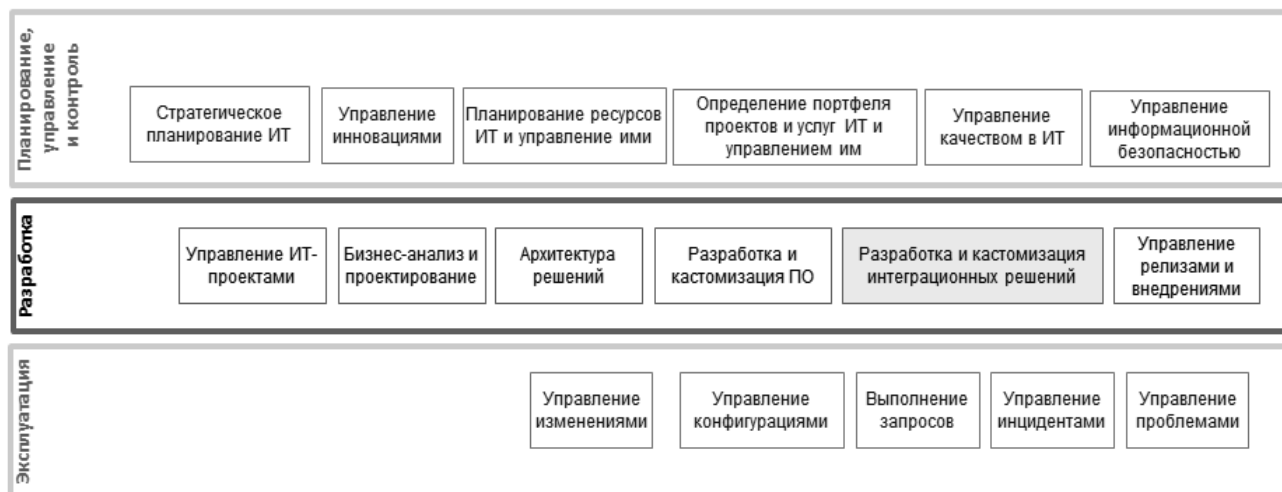


Рисунок 1. Карта основных бизнес-процессов ИТ-компания

Системный интегратор предлагает комплексное решение под конкретного заказчика, которое начинается с разработки ИТ-стратегии, построения инфраструктуры, внедрения прикладных компьютерных систем и приложений, а заканчивается автоматизацией и обслуживанием рабочего процесса. Такая компания специалистов объединяет работу программистов и оптимизаторов, решает уникальные инженерные и маркетинговые задачи [2].

Специфика предметной области

Воплощение в жизнь принимаемых управленческих решений зачастую требует оперативного изменения бизнес-процессов, для чего необходимо резко повысить степень гибкости и адаптивности имеющихся корпоративных информационных систем, поддерживающих бизнес-процессы. Без внедрения современных аналитических и интеграционных решений это невозможно. Интеграционные решения являются технологическим фундаментом для цифровой трансформации.

Традиционные архитектурные подходы и стили решений на базе замкнутых коммерческих или заказных систем поддержки отдельных направ-

лений деятельности не были ориентированы на эффективную реализацию сквозных интегрированных бизнес-процессов, которые должны опираться на функциональные сервисы множества корпоративных информационных систем компании, ее подразделений, филиалов и внешних контрагентов. Многие компании видят выход в том, чтобы переориентировать деятельность и ее информационно-технологическую поддержку на управляемую бизнес-требованиями сервис-ориентированную архитектуру (Service-Oriented Architecture, далее SOA), предложенную компанией IBM [3].

Согласно [4], SOA – это «архитектурный стиль для создания ИТ-архитектуры предприятия, использующий принципы ориентации на сервисы для достижения тесной связи между бизнесом и поддерживающими его информационными системами». Архитектурный подход SOA поддерживают практически все мировые лидеры ИТ-индустрии. Интерес к использованию SOA во многом определяется наличием в компаниях мощной системы средств автоматизации, оперативную модернизацию которой проводить становится все сложнее и сложнее.

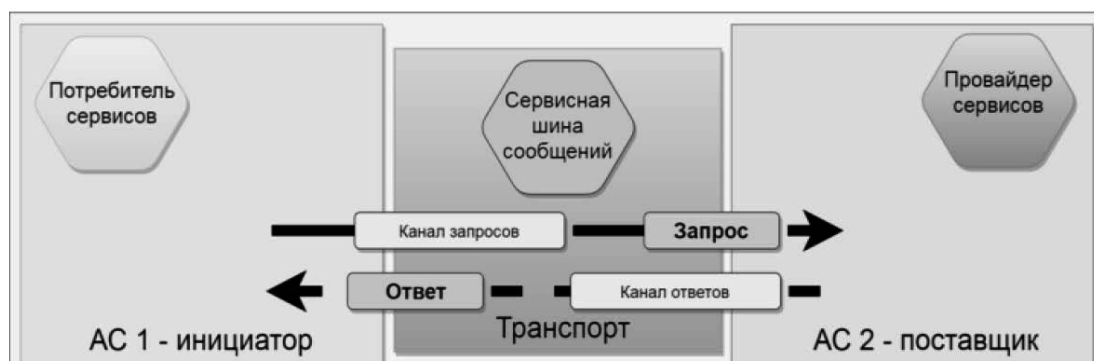


Рисунок 2. Интеграция через ESB

Сервисы – это базовые компоненты архитектуры, которые представляют видимый ресурс, выполняющий повторяющуюся задачу и описанный внешней инструкцией. Сервисы позволяют вызывать функциональность из других приложений и подсистем.

Интеграционная сервисная шина предприятия, ESB (Enterprise Service Bus), играет роль транспорта для сервисов и служит для формирования единой среды взаимодействия различных приложений предприятия. АС-инициатор (сервис или модульное приложение) отправляет запрос

на сервисную шину, которая преобразует сообщение в формат, поддерживаемый в точке назначения, и перенаправляет запрос АС-получателю. АС-получатель обрабатывает полученный запрос и возвращает ответ в сервисную шину, которая преобразует сообщение в формат отправителя (см. рисунок 2).

Все взаимодействие идет через сервисную шину, так что если она падает, то с ней падают и все остальные системы. Другими словами, ESB является ключевым посредником и достаточно сложным компонентом системы [5].

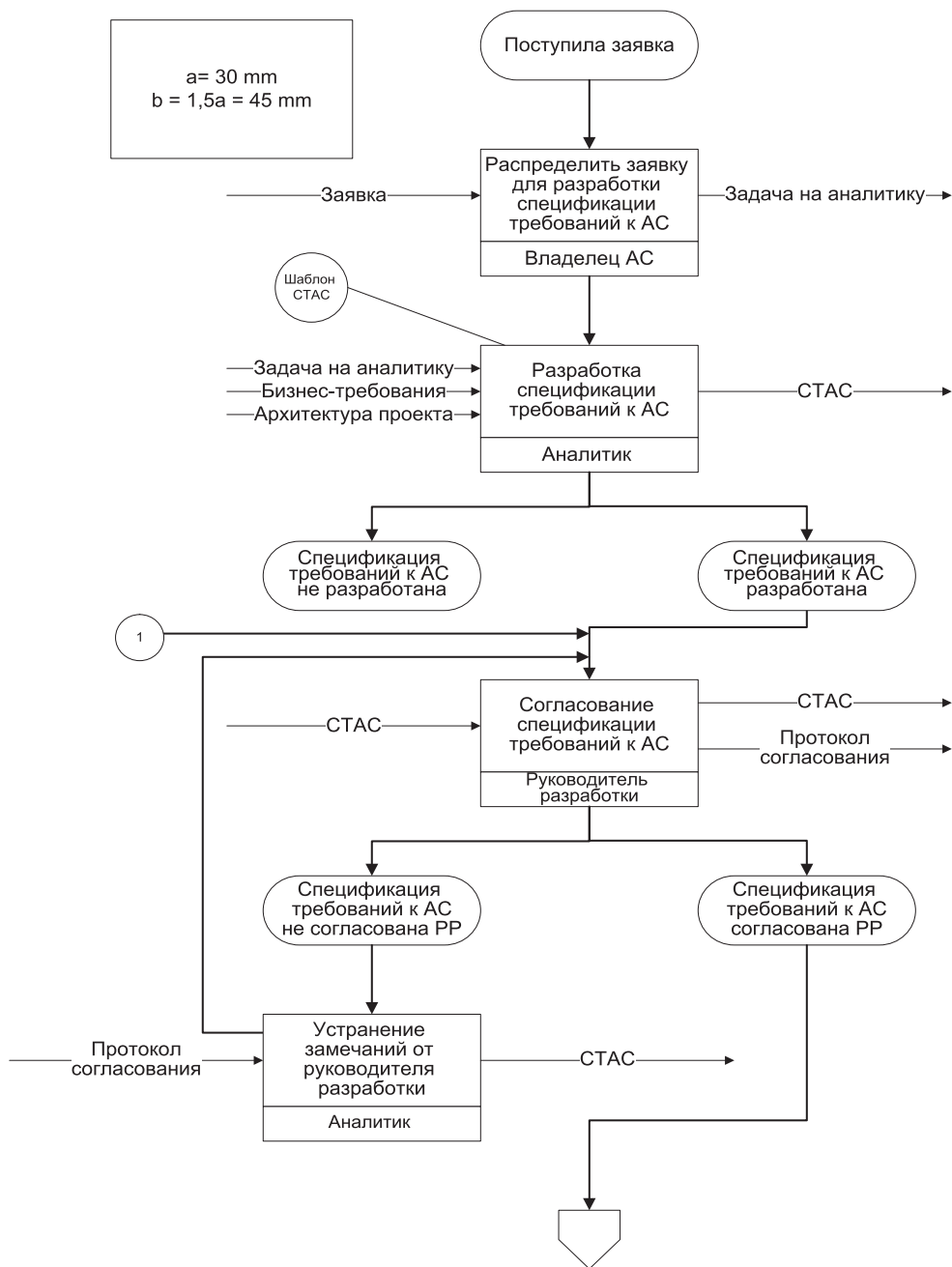


Рисунок 3. Схема бизнес-процесса разработки и кастомизации интеграционного решения

Анализ бизнес-процесса разработки и кастомизации интеграционных решений в интересах управления

Формализованная модель бизнес-процесса разработки и кастомизации интеграционных решений (см. рисунок 1) в нотации блок-схема представлена на рисунке 3. Бизнес-процесс начинается с поступления в отдел интеграции АС заявки на разработку интеграционного решения. Получив заявку, владелец АС распределяет задачу на проведение аналитики. Аналитик разрабатывает документ «Спецификация требований к АС». В документе фиксируется перечень необ-

ходимых к выполнению работ: разработка, доработка или использование сервиса (сервисов).

В процессе подготовки спецификации требований к АС аналитик опирается на информацию, описанную в бизнес-требованиях и концептуальной архитектуре. В случае отсутствия этих документов или неполноты информации в них – аналитик консультируется непосредственно с ИТ-аналитиком, бизнес-аналитиком, ИТ-архитектором, руководителем проекта.

Также аналитик сервиса выстраивает коммуникации с аналитиками смежных АС. Смежные АС являются поставщиками и потребителями

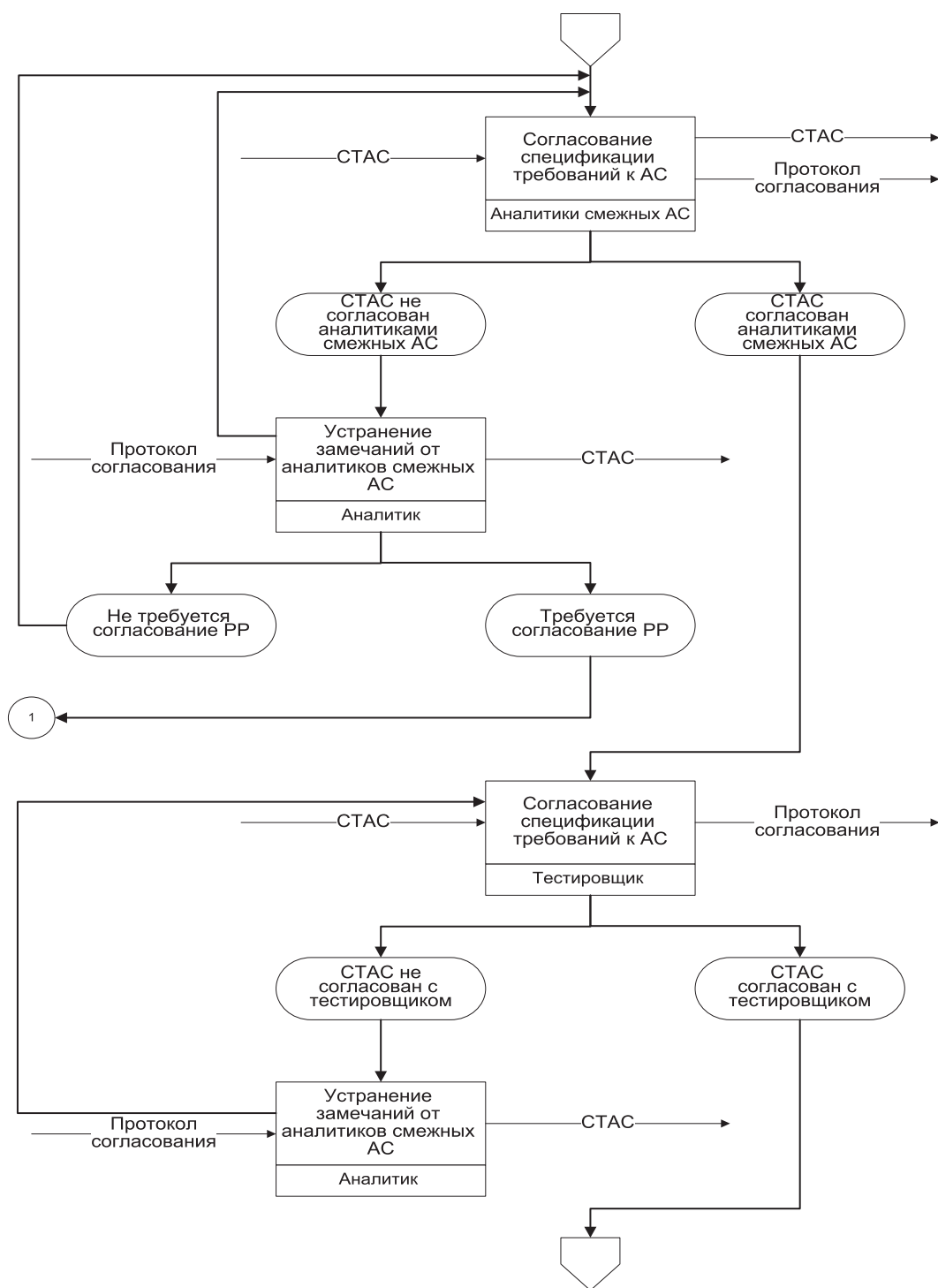


Рисунок 3 (продолжение)

разрабатываемого сервиса. В случае если информации недостаточно, то аналитик останавливает задачу до момента предоставления информации и берет в работу новую задачу.

Если информации достаточно для функционального проектирования сервиса, аналитик фиксирует информацию о назначении сервиса в спецификации требований к АС. Кроме документа аналитик готовит схему данных сервиса, с помощью которой АС-поставщик сможет

корректно сформировать сообщения, которые затем будут приняты и прочитаны сервисом для последующего выполнения инструкций, заложенных в сообщении, как правило, это передача данных АС-потребителю. После подготовки спецификации требований к АС аналитик сервиса последовательно согласовывает документ со всеми заинтересованными лицами: руководителем разработки, смежными АС, отделом тестирования.

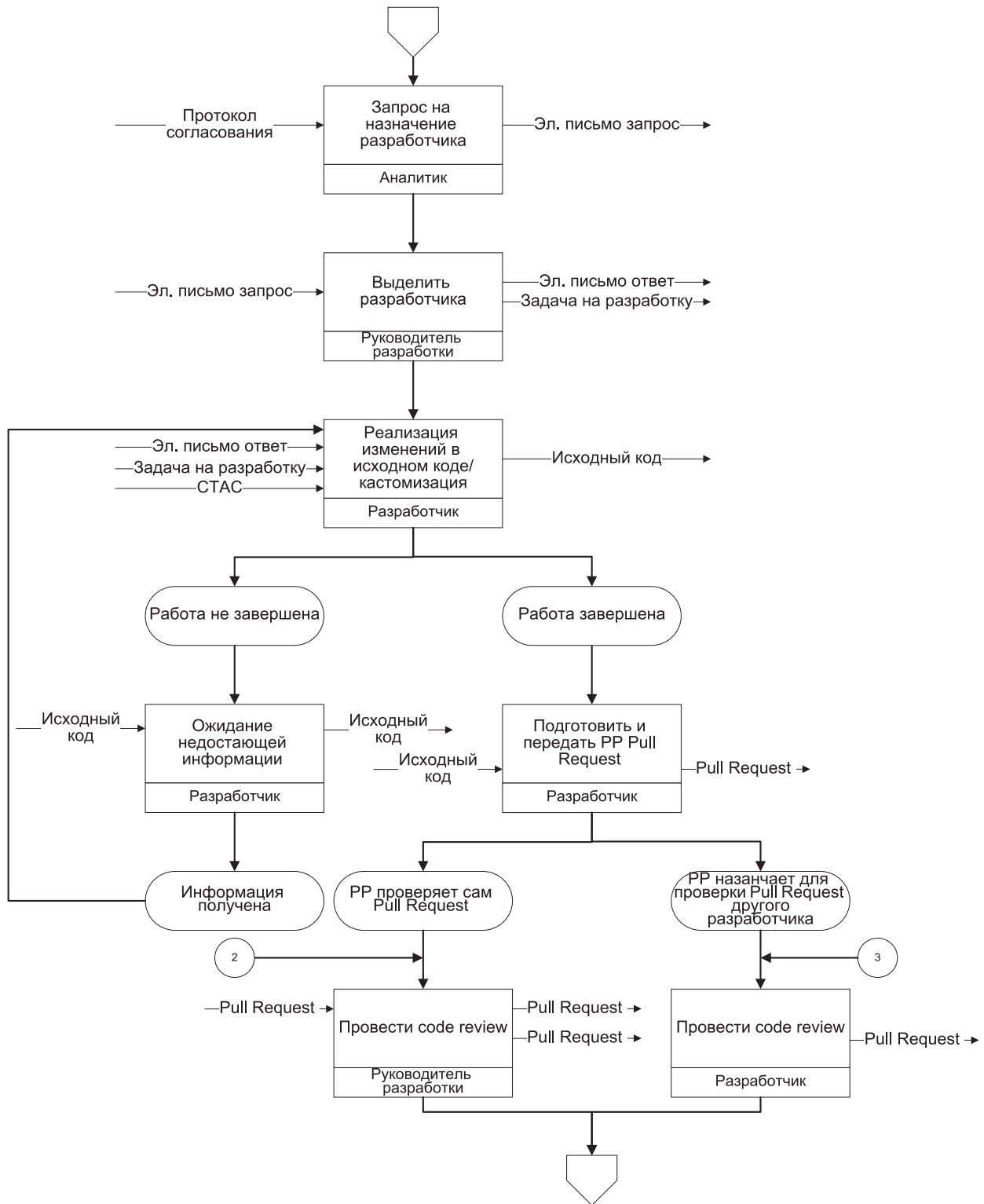


Рисунок 3. (продолжение)

В первую очередь требования должны быть согласованы со стороны руководителя разработки. Если у руководителя разработки имеются замечания, то документ возвращается аналитику сервиса. Аналитик сервиса фиксирует протокол замечаний и приступает к их устранению. Если подготовленное аналитиком реше-

ние возможно к реализации, то руководитель разработки согласовывает спецификацию требований. После успешного согласования с руководителем разработки спецификация требований должна быть согласована со смежными АС, которые будут использовать разрабатываемый сервис. Далее спецификация требований

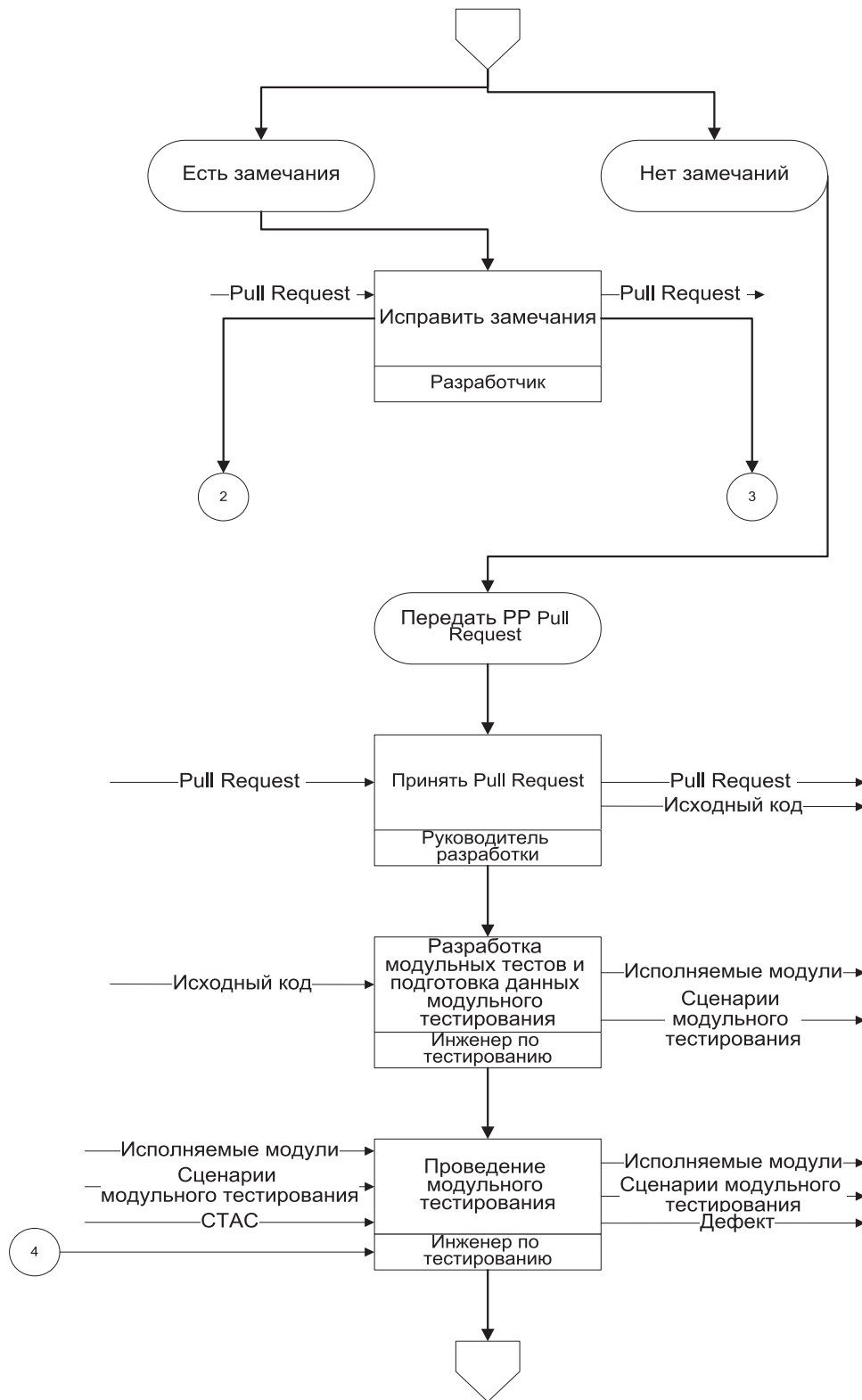


Рисунок 3 (продолжение)

согласовывается с отделом интеграционного тестирования.

В случае успешного согласования отдел интеграционного тестирования включает задачу в свой перечень работ и ожидает выпуск дистрибутива на стенд тестирования. После согласования

спецификации требований к АС со всеми заинтересованными лицами начинается этап программной разработки интеграционного решения. Для этого аналитик делает запрос руководителю разработки на назначение разработчика. Руководитель выбирает разработчика и назначает задачу.

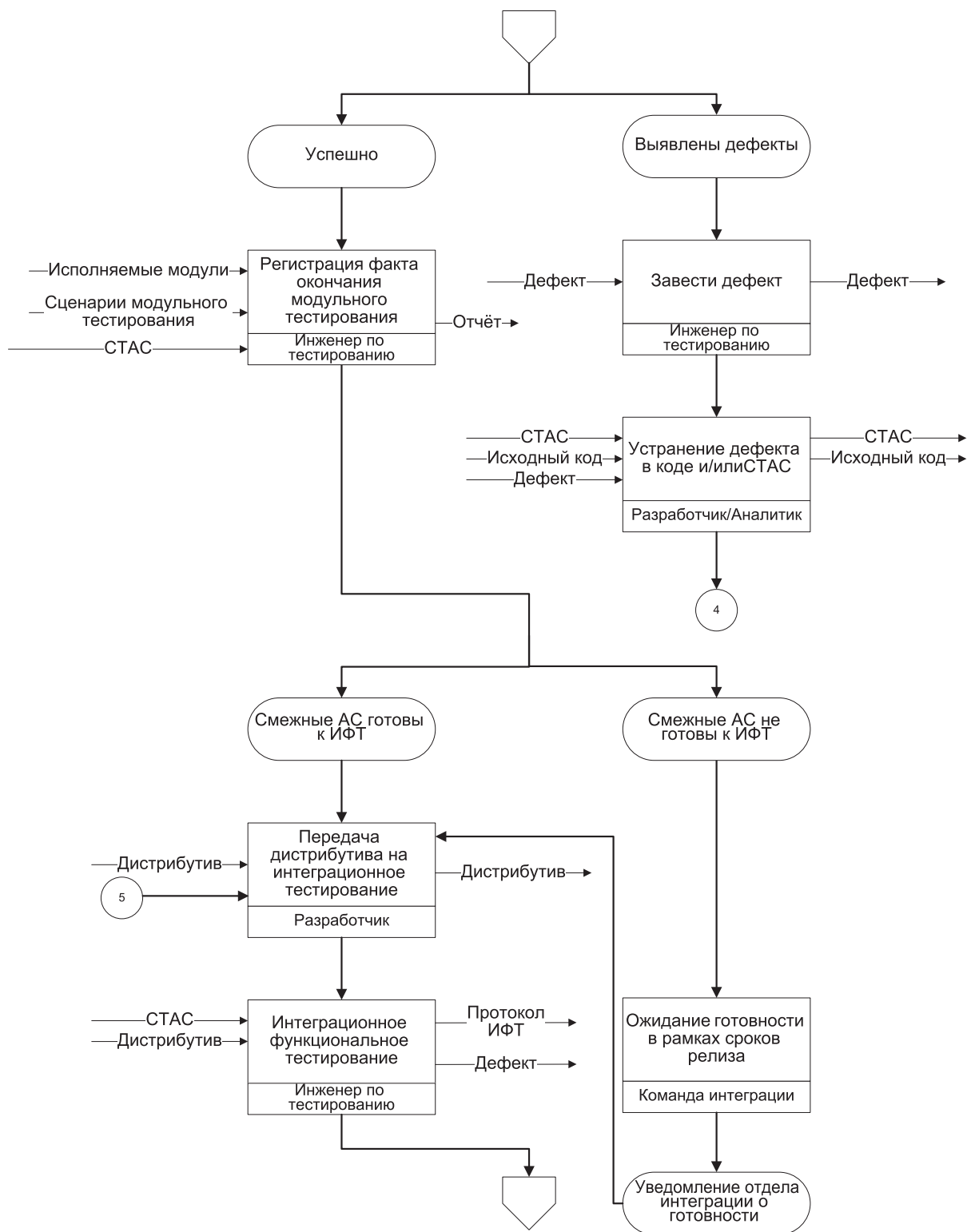


Рисунок 3 (продолжение)

Разработчик получает задачу, проверяет наличие входных артефактов, как правило, это спецификация требований к АС, но в отдельных случаях может понадобиться информация технического характера от разработчиков смежных АС.

Разработчик вносит необходимые изменения в исходный код. Результатом выполнения задачи яв-

ляется Pull Request – запрос к руководителю разработки, управляющему репозиторием, на выполнение изменений из репозитория разработчика. Далее Pull Request подвергается проверке исходного кода программы с целью обнаружения и исправления ошибок, которые остались незамеченными в начальной фазе разработки. Целью просмотра явля-

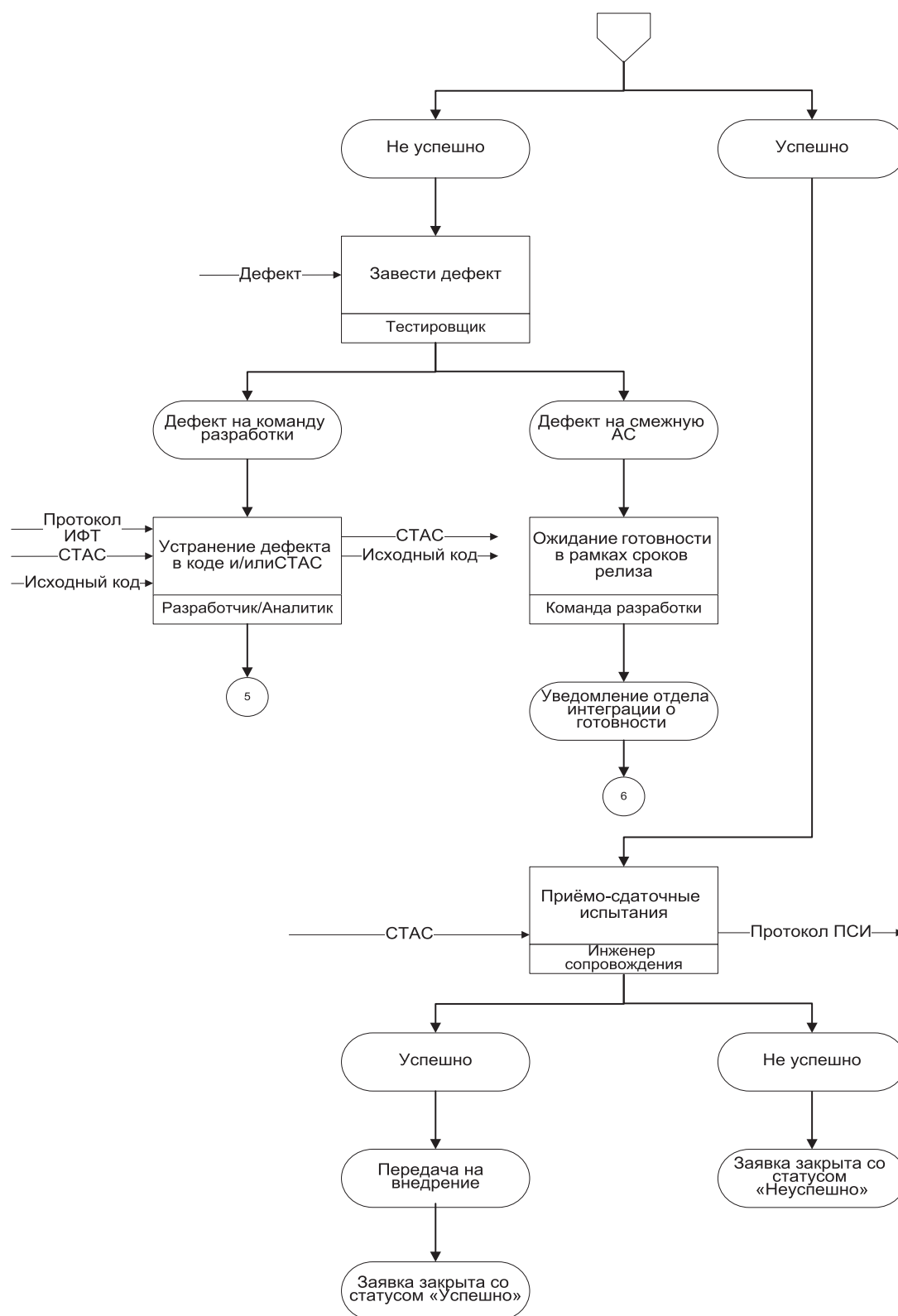


Рисунок 3 (окончание)

ется улучшение качества программного продукта и совершенствование навыков разработчика. Данная процедура проверки кода называется Code Review.

Проверку исходного кода может проводить сам руководитель разработки или он может делегировать проверку другому разработчику.

После устранения всех замечаний (при их наличии) разработчик передает Pull Request руководителю разработки для включения его в основной код.

Следующий этап предусматривает проведение тестирования. Первый этап тестирования называется

модульным и проводится каждой АС (АС 1, АС 2, АС интегратором) независимо друг от друга. Успешное прохождение модульного тестирования всеми участниками интеграционного решения является стартом для подготовки работ к интеграционному функциональному тестированию (ИФТ), при котором отдельные программные модули объединяются и тестируются в группе. В качестве входных данных используются модули, над которыми было проведено модульное тестирование. Если в ходе тестирования были выявлены ошибки, инженер по тестированию заводит дефект на АС, которая является причиной дефекта.

Результатом успешного завершения ИФТ является работоспособное интеграционное решение, что подтверждает протокол ИФТ, подготовленный инженером по тестированию. Протокол ИФТ также является документом, обеспечивающим начало приемосдаточных испытаний (ПСИ). Если в ходе ПСИ у комиссии возникают замечания функционального или программного характера относительно разработанного решения, то все указанные замечания фиксируются в протоколе ПСИ и прикладываются к заявке. Далее инициатор заявки, как правило, руководитель проекта закрывает заявку окончательно или с возможностью доработки. В случае успешного прохождения ПСИ в протоколе фиксируются рекомендации к внедрению решения в промышленную эксплуатацию. Этапы ПСИ и внедрения находятся за рамками исследуемого бизнес-процесса и рассмотрены только в качестве логического понимания завершения работ над заявкой.

Постановка задачи СИМ

В конкурентной борьбе ИТ-компании соревнуются не только за долю на рынке, но и за инвестиции и персонал. Для получения конкурентных преимуществ ИТ-компании вынуждены трансформировать бизнес. Трансформация подразумевает переход компании с одного типа управления ИТ-проектами на другой. Для цифровой трансформации характерен переход на гибкие методологии в управлении ИТ-проектами, ориентированные на организацию работ небольшими командами.

Процесс формирования команды – задание, требующее высокой управленческой компетенции. При его осуществлении требуется не только наличие правильно подобранных, высококвалифицированных ИТ-специалистов, но и людей, желающих работать вместе, сообщая, как команда [1]. Определений «команды» существует несколько десятков, например, М. Армстронг приводит следующее определение: «Команда – это небольшая группа людей, взаимодополняющих и взаимозаменяющих друг друга, которые собраны для совместного решения задач производительности и в соответствии с подходами,

посредством которых они поддерживают взаимную ответственность» [6]. Применительно к сфере ИТ под командой понимают кроссфункциональную группу в 5-10 чел., которая наделена полномочиями и способна определить, разработать и протестировать инкремент ценности решения за обозначенный временной интервал. Включает следующие роли: команда разработки (аналитики, разработчики, тестировщики), Scrum-мастер и владелец продукта.

В своем развитии команды проходят несколько этапов, которые сменяют друг друга (см. таблицу 1). На этапе формирования команда не определяет свой состав сама, она формируется сверху, от руководства. Фактическую производительность команды можно оценить только на этапе функционирования команды. Получить прогнозные значения производительности команды возможно, если на этапе формирования команды ЛППР будет иметь данные о результатах того или иного распределения исполнителей по командам.

У каждого участника команды есть две роли: функциональная и командная. Функциональные роли относятся к должностным обязанностям и охватывают навыки, умения, знания и опыт. Командные роли отражают личностные качества, которые являются устойчивой характеристикой сотрудника и остаются неизменными в разных командах.

Таблица 1. Этапы формирования команд

Этап	Описание этапа
Формирование	На этапе формирования происходит создание команды и постановка целей, распределение и закрепление функциональных ролей.
Бурление	На этапе «бурления» участники осознают цели. Здесь возможны конфликты и противостояние между членами команды.
Нормализация	На этапе нормализации члены команды «притираются» друг к другу и начинают двигаться сонаправлено.
Функционирование	На этапе функционирования команда становится самоуправляемой и способной оптимизировать свою производительность.
Расформирование	Этап расформирования наступает, когда цели, поставленные перед командой, достигнуты.

Рекомендации по распределению командных ролей описывают качества, которыми должна обладать сформированная команда, однако вопросам распределения сотрудников на команды по функциональным ролям уделено недостаточно внимания [6-8].

Оценку производительности команды, риск срыва сроков разработки и внедрения невозможно рассчитать по аналитическим моделям, поскольку на эти показатели влияют несколько факторов, среди которых есть стохастические. Например, количество поступивших заявок на релиз, длительность подготовки требований, длительность согласования требований, длительность разработки, вероятность обнаружения дефекта при тестировании, длительность исправления дефекта в документации, длительность исправления дефекта в коде и др.

В гибких командах работа ведется параллельно: контроль и «власть» распределены между командами. Решения, из которых складывается конечный результат, принимаются каждой командой отдельно, разделяя, но не размывая ответственность между всеми командами. Распараллеливание процедур сбора и обработки информации приводит к децентрализации процедур принятия решений, то есть к созданию самостоятельно функционирующих подсистем, что означает появление в системе иерархической структуры. Для управления социально-экономической системой, обладающей иерархической структурой, необходимо рассмотреть исследуемый бизнес-процесс разработки и кастомизации интеграционных решений как систему нерелекторного типа.

Нерелекторная система – это система, которая может неоднозначно, многовариантно реагировать на одно и то же внешнее воздействие. Управление в таких системах связано с наличием человеческого фактора, что значительно усложняет процесс управления. Рассмотрим пример нерелекторной системы [9-10].

Имеется объединение N промышленных предприятий (концерн или трест), выпускающих однотипную продукцию. Назовем такое объединение центром. Обозначим через P_i продукцию, выпускаемую i -ым предприятием из общего их числа n , то есть $i \in [1; n]$. Результат функционирования центра определяется результатами функционирования отдельных производителей. Оценки этого результата могут быть различными. Центр также производит продукцию, и его целевая функция однозначно определяется продукцией производителей

$$J = J(P_1; P_2; P_3 \dots P_n) \quad (1)$$

Центр не имеет права назначать объемы производства P_i , но может влиять на эти объемы. Величина продукта, произведенного i -ым производителем, определяется объемом его фондов x_i и количеством рабочей силы L_i :

$$P_i = f_i(x_i; L_i). \quad (2)$$

Функция $f_i(x_i; L_i)$ в теории управления именуется производственной функцией. Существуют различные способы аппроксимации производственной функции. Доход i -го производителя J_i равен стоимости произведенной продукции за вычетом накладных расходов. Для простоты будем считать, что накладные расходы состоят только в оплате рабочей силы. Если обозначить через ω_i фиксированную ставку заработной платы, то каждая величина J_i будет равна

$$J_i = c P_i - \omega_i L_i \quad (3)$$

Если величина фондов x_i также фиксирована, то объем продукции определяется количеством рабочей силы L_i . Таким образом, L_i является управляющим параметром, который полностью находится в распоряжении производителя. Для того чтобы управлять действиями производителей, центр должен располагать способами эффективного воздействия на них.

Рассмотрим простейший способ: распределение экзогенного ресурса U , который полностью находится в распоряжении центра и может расходоваться, например, на инвестиции, на создание основных фондов производителя и т.п. Тогда задача центра, которую можно назвать задачей планирования, состоит в таком распределении ресурса U , которое приводит к максимуму функцию (1):

$$U = \sum_{i=1}^N u_i. \quad (4)$$

При этом эффективность распределения U будет зависеть не только от действий центра, но и от значений L_i , которые выбираются производителями. Таким образом, складывается игровая ситуация, в которой, по определению Ю.Б. Гермейера, имеется $N + 1$ игроков: N производителей и центр [11].

Для того чтобы эффективно реализовать процедуру управления, игрокам необходимо условиться о «порядке ходов», «гипотезе информированности» и «гипотезе поведения». В данной игровой ситуации право первого хода принадлежит центру – который делает этот ход, передавая i -му произво-

дителю ресурс u_i и учитывает, что производитель с этого момента знает величину u_i .

Основным теперь становится вопрос о гипотезе поведения игроков: предположим, что центр знает (или считает, что знает) интересы производителей, полагая, что они описываются целевой функцией (1). Тогда гипотеза центра о поведении производителя состоит в том, что он должен так выбрать свое управление L_i , чтобы максимизировать доход (1). Применительно к сфере исследуемого бизнес-процесса центром является объединение N -команд, ведущих разработку для одного или нескольких ИТ-проектов. Выпускаемой продукцией являются готовые интеграционные решения, которые разрабатываются каждой командой в отдельности. Целевая функция будет зависеть от производительности всех команд.

Исследование данного процесса привело к выводу о том, что наиболее перспективным методом его моделирования в интересах совершенствования управления является СИМ по МДМ [12].

Применение СИМ по МДМ предполагает использование наиболее развитых (по сравнению с другими подходами) способов целенаправленного повышения эффективности управления сложными системами на основе моделирования динамики их функционирования с учетом случайных факторов, влияющих на принятие управленческих решений.

Прикладная ценность СИМ по МДМ заключается в том, что он позволяет на основе хорошо апробированных и относительно простых графических средств, без потери необходимой точности и достоверности, формализовать исследуемые сложные системы на выбранном уровне их абстрагирования, а затем перейти от содержательного описания сложной системы к непосредственной программной реализации СИМ-модели. Целесообразность разработки и практического применения данной модели обусловлено необходимостью использовать метод альтернативных вариантов (сценариев) при проектировании и анализе эффективности сложной системы, предусматривающий сравнение между собой разных форм организации сложной системы с последующим выбором и реализацией наилучшей из них. Рассматриваются следующие сценарии:

Сценарий 1. В стандартном сценарии заявка поступает в отдел интеграции, где назначается на любого аналитика, далее на разработчика. После заявка поступает в отдел тестирования и распределяется на любого тестировщика. Выбор исполнителя осуществляется руководителем разработки, исходя из имеющейся у него информации о

занятости исполнителей. Исполнитель каждой роли «аналитик», «разработчик», «тестировщик» выполняют строго обозначенный перечень работ, обязанностей, которые соответствуют компетенциям роли.

Сценарий 2. Здесь рассматривается вариант реорганизации структуры управления в компании в условиях цифровой трансформации бизнеса, которая предполагает объединение отделов разработки и тестирования с целью разделения исполнителей на команды. Вопрос укомплектования команд является актуальным и сложным, так как необходимо учесть влияние большего числа случайных факторов и условий. Предполагается разделить N исполнителей на k команд, при этом должны выполняться условия:

- команда обязательно должна включать представителя каждой роли «аналитик», «разработчик», «тестировщик»;

- команды должны быть примерно равные между собой по производительности (то есть нельзя, например, чтобы в одной команде были только опытные сотрудники, а в другой команде объединить «новичков»). При этом нужно учесть распределение исполнителей не только по командным ролям, но и по функциональным ролям;

- необходимо учесть, что исполнители N территориально находятся в разных городах G , поэтому важно исключить ситуацию, когда исполнитель оказался бы единственным участником команды в городе G_n ;

- необходимо оценить влияние на общую производительность принципа функционального укомплектования команд. Функциональное распределение предполагает, что каждая команда будет специализироваться на каком-то конкретном виде интеграции (функции). Здесь может возникнуть ситуация, когда команда будет наращивать опыт в интеграции с выделенными ей функциями, достигнет максимума, что позволит быстро, с минимальным количеством ошибок проектировать интеграционные решения, но при этом есть и отрицательная сторона – закрепление за командой конкретных видов интеграции не позволит наращивать компетенции и опыт по другим видам интеграций;

- необходимо оценить влияние на общую производительность принципа горизонтального развития компетенций, который предполагает возможность одной функциональной роли выполнять другие роли. То есть аналитик может при необходимости выполнить некоторые задачи разработчика, если, например, разработчик перегружен, или может протестировать самостоятельно

но часть кода, если тестировщик заболел, ушел в отпуск или просто перегружен работой и т.д.

Целью исследования сложной системы является предсказание ее поведения в будущем – на основе прошлых и настоящих фактических данных о ней, с учетом возможной динамики параметров внешней среды, влияния внешних и внутренних случайных факторов. В качестве входных данных ЛППР будет вводить данные о желаемом распределении исполнителей по командам, задавать условия, ограничения и требования, предъявляемые к командам. Далее будет эмулироваться обработка заявок за период моделирования (один спринт или один релиз) получившимися командами.

Моделирование позволяет выявить узкие места, учесть влияние случайных факторов на бизнес-процесс разработки и кастомизации интеграционных решений, отследить подробную статистику и поведение системы во времени и проиграть сценарии при различных вариантах укомплектования команд.

Практическая значимость работы заключается в возможности принятия ИТ-менеджерами обоснованных решений на стадии формирования команд разработки с целью повышения эффективности работы команд в условиях трансформации бизнеса и перехода на командное управление.

Заключение

В статье рассмотрена функциональная характеристика объекта исследования и специфика предметной области, разработана содержательная и формализованная модели бизнес-процесса разработки и кастомизации интеграционных решений, разработаны и описаны задачи управления сложной системой, которые можно решить с помощью СИМ по МДМ.

Литература

1. Новиков В.Е. Формирование эффективной команды ИТ-проекта // «Системы управления бизнес-процессами» // URL: <http://journal.itmane.ru/node/235> (д.о. 12.02.2019).

2. Системный интегратор // URL: <https://it-ping.ru/stati/sistemnyij-integrator> (д.о. 12.02.2019).
3. Smart SOA: разумный подход ИТ-лидера // Инновации в технологиях и бизнесе. – 2008. – №4. // URL: https://www.osp.ru/data/893/418/1237/ibm_4_10%204 (д.о. 22.11.2018).
4. Портье Б. Обзор терминологии SOA. Ч.1. Сервис, архитектура, управление и бизнес-термины // IBM developer Works URL: ibm.com/developerWorks/ru/ (д.о. 20.12.2018).
5. Интеграция приложений и сервисов. ВСС Group (ООО «Би.Си.Си.») // URL: <http://bcc.ru/> (д.о. 12.02.2019).
6. Вольфсон Б.И. Гибкие методологии разработки. – СПб: Питер, 2017. – 144 с.
7. Стелман Э., Грин Дж. Постигая Agile, Ценности, принципы, методологии. Пер. с англ. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. – 448 с.
8. Селюк А. В., Денисова С.С. Управление проектной командной. – Тюмень: Изд. ТГУ, 2013. – 216 с.
9. Димов Э.М., Маслов О.Н., Пчеляков С.Н., Скворцов А.Б. Новые информационные технологии: подготовка кадров и обучение персонала. Ч.2. Имитационное моделирование и управление бизнес-процессами в инфокоммуникациях, – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2008. – 350 с.
10. Ануфриев Д.П., Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В. Статистическое имитационное моделирование и управление бизнес-процессами в социально-экономических системах. – Астрахань: Изд. АстИСИ, 2015. – 365 с.
11. Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами (теория принятия решений при неполном единстве). – М.: Изд. МГУ, 1972. – 256 с.
12. Ануфриев Д.П., Димов Э.М., Маслов О.Н., Халимов Р.Р. Сравнительная эффективность методов и средств информационной поддержки управленческих решений // Инфокоммуникационные технологии. – 2014. – Т.12. – №1. – С. 54-67.

Получено 15.11.2018

Димов Эдуард Михайлович, д.т.н., профессор Кафедры прикладной информатики (ПИ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-906-340-37-41. E-mail: e.m.dimov@gmail.com

Маслов Олег Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой ПИ ПГУТИ. Тел. 8-917-950-05-13. E-mail: maslov@psati.ru

Хаджиева Светлана Владимировна, аспирант Кафедры ПИ ПГУТИ. Тел. 8-927-731-47-26. E-mail: ssv2507@mail.ru

SIMULATION MODELING BUSINESS PROCESS OF DEVELOPMENT AND CUSTOMIZATION OF INTEGRATION DECISIONS IN THE INTERESTS OF IT-COMPANY MANAGEMENT

Dimov E.M., Maslov O.N., Khadzhieva S.V.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: ssv2507@mail.ru

IT system integrator companies are struggling not only for the opportunity to be the first in the information technology market, but also for employees. The subject of the research is the process of distributing employees to teams. To assess the effectiveness of the distribution of employees to teams, it was proposed to use the method of statistical simulation modeling according to Dimov-Maslov. The authors studied the specifics of the activities of IT companies, described a business process model and performed a formulation of modeling problems in the interests of management. Using the obtained results will allow identifying bottlenecks in the functioning of the business process, taking into account the influence of random factors, tracking the statistics and system behavior in time and losing scenarios for various manning options.

Keywords: *statistical simulation modeling, Dimov-Maslov method, non-reflector system, team building, IT system integrator company, service-oriented architecture*

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.08

Dimov Eduard Mikhailovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Professor of the Department of Applied Informatics, Doctor of Technical Science, Professor. Tel. +79063403741. E-mail: e.m.dimov@gmail.com

Maslov Oleg Nikolayevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; the Head of Department of Applied Informatics, Doctor of Technical Science, Professor. Tel. +79023710624. E-mail: maslov@psati.ru

Khadzhieva Svetlana Vladimirovna, Ph. D Student of Applied Informatics Department, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel. +79277314726. E-mail: ssv2507@mail.ru

References

1. Novikov V.E. Formirovanie effektivnoy komandy IT-proekta [Formation of an effective IT project team] *Sistemy upravleniya biznes-processami*. Available at: <http://journal.itmane.ru/node/235> (accessed 10.11.2018).
2. Sistemnyy integrator. Available at: <https://it-ping.ru/stati/sistemnyij-integrator> (accessed 10.11.2018).
3. Smart SOA: razumnyy podhod IT-lidera [Smart SOA: IT Leader Reasonable Approach]. *Innovacii v tekhnologiyah i biznese*, 2008, no. 4. Available at: https://www.osp.ru/data/893/418/1237/ibm_4_10_4 (accessed 10.11.2018).
4. Porte B. Obzor terminologii SOA. CH.1. Servis, arhitektura, upravlenie i biznes-terminy [SOA terminology. Part 1 Service, architecture, management, and business terms]. *IBM developer Works*. Available at: ibm.com/developerWorks/ru/ (accessed 10.11.2018).
5. Integraciya prilozheniy i servisov [Integration of applications and services. BCC Group]. Available at: <http://bcc.ru/> (accessed 10.11.2018).
6. Wolfson B.I. Gibkie metodologii razrabotki [Flexible development methodologies]. St. Petersburg, Piter Publ., 2017. 144 p.
7. Stellman A., Greene J. *Learning Agile: Understanding Scrum, XP, Lean, and Kanban*. O'Reilly Media, 2013. 420 p. (Russ ed.: Stelman A., Green J. Postigaya Agile, Cennosti, principy, metodologii. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber Publ., 2018. 448 p.)
8. Selyuk A.V., Denisova S.S. *Upravlenie proektnoy komandnoy* [Management of project team]. Tyumen, TSU Publ., 2013. 216 p.
9. Dimov E.M., Maslov O.N., Pcheljakov S.N., Skvorcov A.B. *Novye informatsionnye tehnologii: podgotovka kadrov i obuchenie personala. Ch. 2. Imitatsionnoe modelirovanie i upravlenie biznes-processami v*

- infokommunikacijah* [New information technologies: personnel training. P.2. Simulation modelling and management of business processes in infocommunications]. Samara, SNC RAN Publ., 2008, 350 p.
10. Anufriev D.P., Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Y.V. Statisticheskoe imitacionnoe modelirovanie i upravlenie biznes-processami v social'no-ehkonomicheskikh sistemah [Statistical simulation modeling and management of business processes in socio-economic systems]. Astrahan, AstrISMI Publ. 2015. 365 p.
11. Germeier Yu.B. *Igry s neprotivopolozhnyimi interesami (teoriya prinyatiya resheniy pri nepolnom edinstve)* [Games with opposing interests (decision theory with incomplete unity)]. Moscow, Moscow State University Publ., 1972. 256 p.
12. Anufriev D.P., Dimov E.M., Maslov O.N., Halimov R.R. Sravnitel'naya effektivnost' metodov i sredstv informacionnoy podderzhki upravlencheskih resheniy [Comparative effectiveness of methods and means of information support for management decisions]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2014, vol. 12, no. 1, pp. 54-67.

Received 15.11.2018

УДК 658.5

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА «ПОИСК И ВЫБОР ПОСТАВЩИКА ПРОДУКЦИИ»

Богданова Е.А., Михаленко Ю.А.

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: helen.bogdan@mail.ru, mihalenko97@mail.ru*

В статье приведено обоснование применения статистического имитационного моделирования как одного из методов обработки больших объемов данных, что позволяет существенно повысить эффективность принимаемых решений в различных сферах деятельности. Рассматриваются вопросы, связанные с разработкой статистической имитационной модели бизнес-процесса поиска и выбора поставщика продукции на примере организации по производству молочной продукции. Приведена блок-схема бизнес-процесса, его детальное описание, а также проведен анализ рассматриваемого бизнес-процесса в интересах имитационного моделирования, в ходе которого выделены наиболее значимые для моделирования данного процесса случайные величины. Для создания модели были определены законы распределения всех выделенных случайных величин, разработан моделирующий алгоритм и план эксперимента с моделью. Приведены результаты эксперимента, проведенного на имитационной модели.

Ключевые слова: статистическое имитационное моделирование, цифровая экономика, бизнес-процесс, случайные величины, алгоритм моделирования

Введение

В современных реалиях мировая экономика, как в целом и все социально-экономические системы (СЭС), постоянно подвергаются изменениям и различного рода трансформациям под влиянием ряда факторов: от природных катаклизмов, появления фундаментальных разработок и технологий и вплоть до разного рода кризисов. В условиях непрерывного развития перед каждой организацией на первый план становится вопрос грамотного и эффективного управления предприятием, что представляет собой достаточно трудный и кропотливый процесс, требующий определенной компетентности в области рационального сочетания разнообразных методов управления.

Лицо, принимающее решение (ЛПР), должно руководствоваться достоверной и полной ин-

формацией для выбора оптимального пути развития организации. Для этого ЛПР необходимо проанализировать огромный объем данных. И в этой связи данные являются основой экономического анализа, исследующего закономерности функционирования современных СЭС. Как утверждает ряд экспертов, в настоящее время для экономического агента становится важным не сам факт обладания каким-либо ресурсом, а наличие данных об этом ресурсе и возможность их использовать с целью планирования своей деятельности [1].

Исходя из этого, под «цифровой экономикой» следует понимать современный тип хозяйствования, в котором ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде и методов управления ими как определяющий ресурсы в сфере производства, распределения, обмена и потребления. Обработка больших объемов дан-

ных и использование результатов их анализа по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность принимаемых решений в сферах производства, технологий, хранения, продаж, доставки товаров и предоставления услуг. Одним из методов обработки и управления большими объемами данных является метод статистического имитационного моделирования (СИМ).

На сегодняшний день во многих крупных компаниях к обязательному этапу в принятии управленческих решений относят метод СИМ. Применение моделирования различных бизнес-процессов позволяет вырабатывать экономически эффективные стратегии и тактически верные управленческие решения. Эти решения, перед непосредственным применением в реальных условиях, должны быть предварительно испытаны на моделях бизнес-процесса. Таким образом, метод СИМ можно охарактеризовать как эмпирический инструментальный метод анализа настоящей системы по ее СИМ-модели, комбинирующий в себе особенности практического подхода и особые условия применения компьютерной техники [2].

Цель статьи – практическое применение метода СИМ, позволяющего воспроизводить процессы функционирования СЭС путем формирования стохастических величин (СВ), имитации работы и статистической обработки результатов моделирования [3].

Цели и задачи разработки

Рассмотрим бизнес-процесс поиска и выбора поставщика, который удовлетворял бы всем потребностям организации, с целью долгосрочного сотрудничества. Этот процесс может быть применен к любой организации вне зависимости от ее сферы деятельности. Также моделирование вышеупомянутого бизнес-процесса наглядно иллюстрирует суть и практическую значимость рассматриваемого метода моделирования.

Исходя из цели моделирования, сформулируем задачи, подлежащие решению.

1. Произвести анализ рассматриваемого бизнес-процесса.
2. Формализовать алгоритм бизнес-процесса посредством блок-схемы.
3. Собрать и обработать доступные на данном этапе статистические данные о процессе.

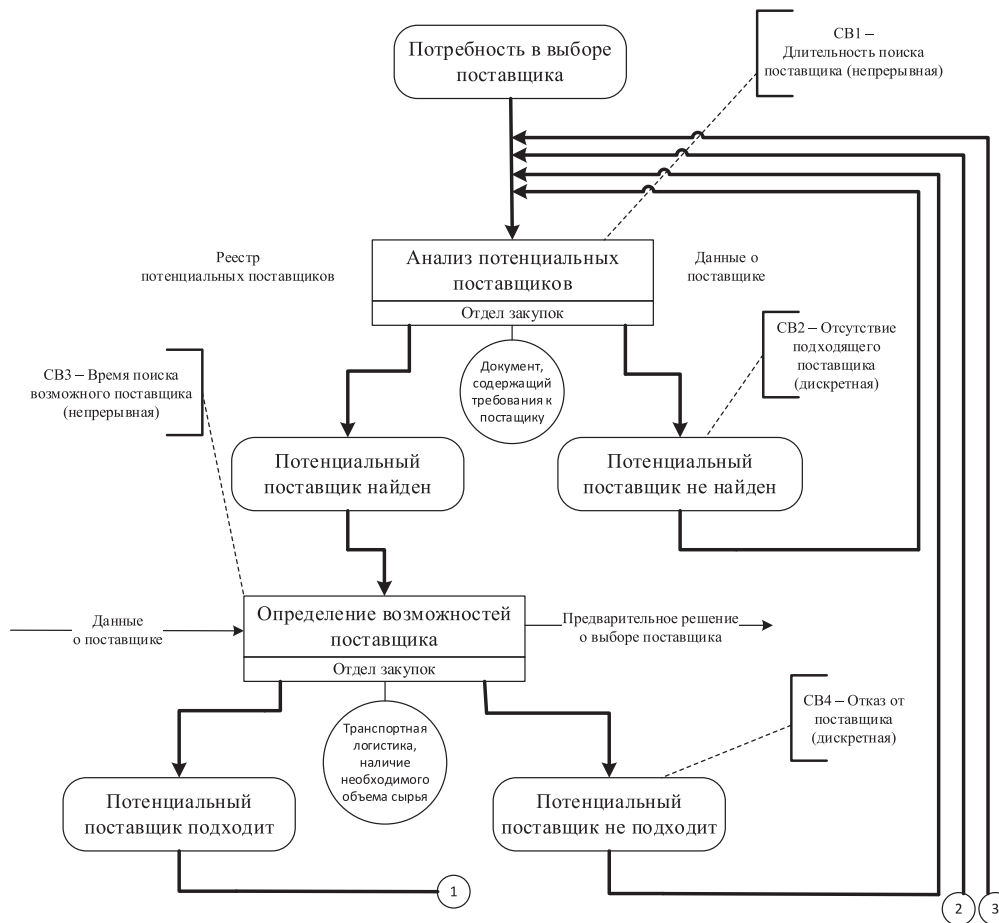


Рисунок 1. Бизнес-процесс поиска и выбора поставщика

4. Создать моделирующий алгоритм.
5. Вывести результаты эксперимента на СИМ-модели пользователю.

Разработка и анализ бизнес-процесса «Поиск и выбор поставщика продукции»

На рисунке 1 бизнес-процесс представлен содержательным и формализованным описанием в виде блок-схемы нотации «Процесс», демонстрирующим управляющие и информационные потоки, исполнителей процесса и используемые ресурсы. Видно, что бизнес-процесс подвержен влиянию большой совокупности случайных факторов, что делает его сложным с точки зрения формализации и моделирования.

Инициализация бизнес-процесса происходит с определением потребности в выборе поставщика (см. рисунок 1). Отдел сбыта предприятия на первоначальном этапе определяет потребность в

сырье, необходимом для производства, и ставит задачу выбора поставщика для заключения долгосрочного договора на поставку данного сырья. В виде ресурса здесь выступает документ с требованиями к будущему партнеру, разработанный предприятием.

Отдел закупок приступает к анализу потенциальных поставщиков, используя реестр, который содержит сведения, касающиеся сферы деятельности, контактной информации, территориального расположения и прочих данных. В результате потенциальный поставщик либо определяется, либо нет. В первом случае сведения о поставщике подвергаются более детальной проверке, во втором – процесс предварительного подбора осуществляется заново. В данном случае случайными величинами являются время поиска поставщика СВ1, так как время, затраченное на определение подходящего по параметрам постав-

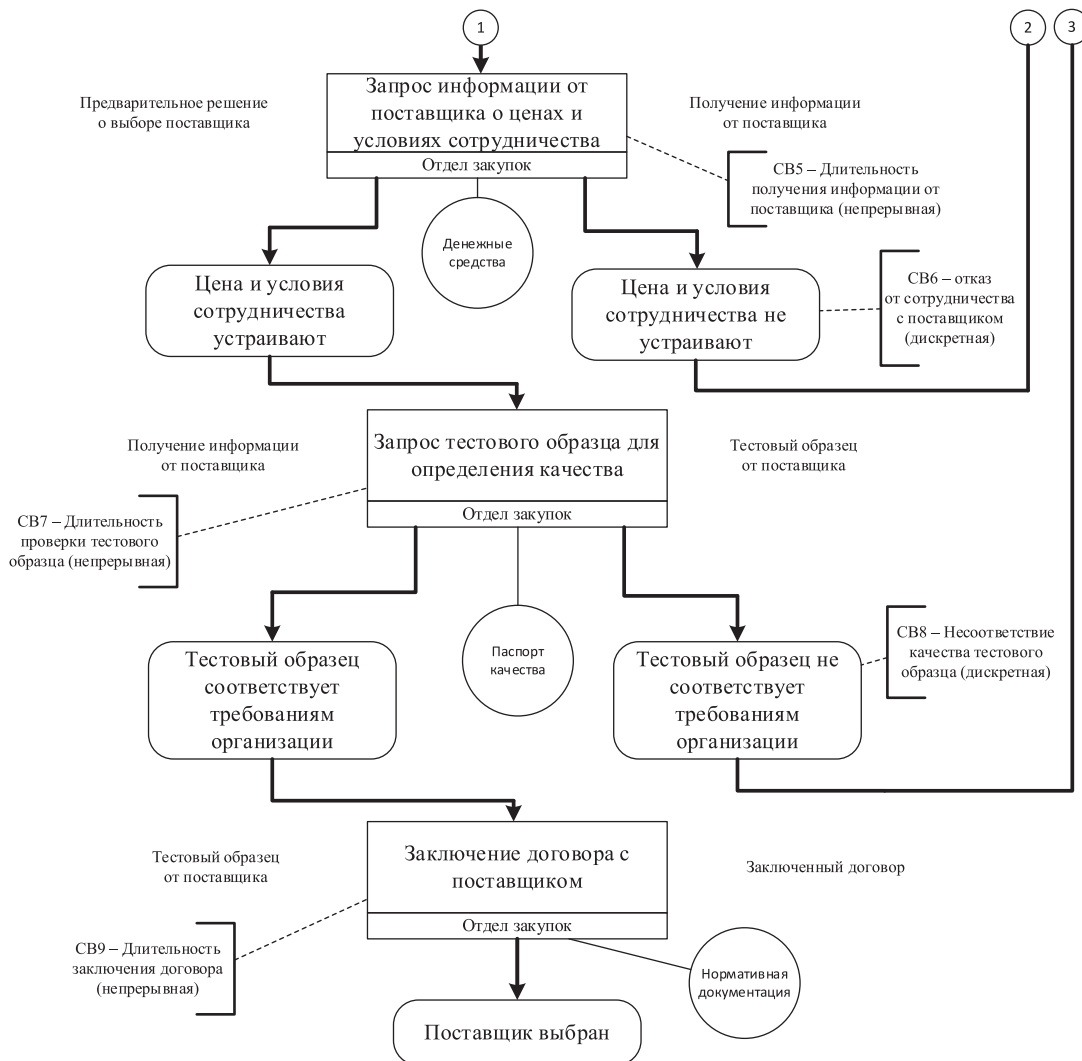


Рисунок 1 (окончание)

щика спрогнозировать сложно, и отсутствие подходящего поставщика есть СВ2.

Затем происходит определение возможностей поставщика. Отдел закупок руководствуется, в первую очередь, транспортной логистикой и наличием необходимого объема сырья. В случае дорогостоящей, длительной доставки, а также невозможностью предоставить сырье или комплектующие в нужном объеме и в нужный срок, будет целесообразно отказаться от сотрудничества с возможным поставщиком. Таким образом, отдел закупок может принять предварительное решение о том, подходит ли предприятию данный поставщик.

Время, затраченное на его определение, будет СВ3, так как в зависимости от разных условий оно может меняться. Или будет принято решение об отказе от рассматриваемого поставщика и возвращении процесса поиска в исходную позицию. Отказ от поставщика обозначается как СВ4. В случае положительного решения отдел закупок связывается с поставщиком для уточнения готовности последнего к сотрудничеству, а также условий партнерства, возможности предоставления скидки или различного рода льгот и цен на интересующие позиции (см. рисунок 1). Здесь отдел закупок руководствуется определенной суммой денежных средств, которую предприятие готово заплатить за сырье.

Время получения информации от поставщика есть СВ5. Если полученные сведения не устраивают организацию, она отказывается от сотрудничества с выбранным поставщиком и возвращается в начальную позицию поиска. Отказ от сотрудничества является СВ6.

В ситуации, когда предприятие устраивают все условия поставщика, отдел закупок запрашивает тестовый образец для определения его качества. Проверка качества предоставленного образца определяется в соответствии с паспортом качества. Длительность этой проверки является СВ7, поскольку на этот процесс может повлиять множество случайных факторов. При несоответствии качества тестового образца процесс поиска поставщика также возвращается в начало. Несответствие качества соответствует СВ8. Если отдел закупок удостоверится в соответствии надлежащего качества сырья поставщика, организация заключает с ним договор о сотрудничестве, тем самым достигнув поставленной цели. Поскольку на процесс заключения договора воздействуют стохастические факторы, длительность этого этапа есть СВ9.

На основе проанализированного бизнес-процесса разработана СИМ-модель. Теоретической и методологической основой создания модели послужили источники информации [4-10]. Результаты эксперимента, проведенного на имита-

Потенциальный поставщик	Расстояние (км.)	Периодичность поставки (через сколько дней)	Цена за литр (руб.)	Объем поставки (литр)	Стоимость партии
СПК Колхоз им. Калягина	72	2	26,75	140	3745
СПК Колхоз Куйбышева	74	3	24,9	100	2490
СПК "Антоновский"	120	3	27	150	4050
СХПК "Покровское"	67	4	23,5	150	3525
СПК "Родина"	210	4	25	160	4000
СПК им. Камиля Якуба	220	5	21,9	130	2847
СПК "Ягодный"	130	3	24,75	120	2970
СПК "ИСКРА"	53	2	29	95	2755
СПК "Степные зори"	80	1	27,10	100	2710
СПК "Усаклинский"	230	6	22	180	3960
СПП "Рубежное"	25	3	25,25	125	3156,25
СПК "Правда"	110	2	26,8	90	2412
СПК "Победа"	43	2	24,5	80	1960
ОАО "Комсомолец"	200	5	23,1	150	3465
КВХ Яковлев	150	4	24,65	92	2267,8
СПК "Черемшан"	170	5	25	130	3250
СПК Колхоз Жигули	110	3	25,75	130	3347,5
СПК СХА им. Пушкина	140	2	23,38	115	2688,7
ООО "Кутузовское"	210	4	24,82	135	3350,7
СПК "Ленина"	110	2	23,05	120	2766

Статус: Готов

Рисунок 2. Результаты эксперимента, полученные на СИМ-модели

ционной модели, представлены на рисунке 2. В качестве объекта исследования была выбрана организация по производству молочной продукции, нуждающаяся в поставщике сырого молока.

Согласно разработанной СИМ-модели, система производит поиск подходящего варианта, используя имеющийся реестр и отсеивая варианты, неподходящие под установленные критерии. В конечном итоге формируется список наиболее приемлемых вариантов с выделением самого выгодного из них.

В качестве объекта исследования выбрано предприятие по производству молочной продукции, нуждающееся в поставщике сырого молока. Согласно разработанной выше СИМ-модели, система производит поиск подходящего варианта, используя имеющийся реестр и отсеивая варианты, неподходящие под установленные критерии. Разработанная СИМ-модель может быть размещена в Internet, чтобы всем заинтересованным компаниям можно было промоделировать процесс выбора поставщика и тем самым воспользоваться электронными услугами, что соответствует концепции цифровой экономики.

Заключение

По результатам СИМ бизнес-процесса ЛПР может принять управленческое решение по вопросу выбора наиболее подходящего поставщика, оценить возможности повышения эффективности бизнес-процесса с наименьшими затратами. Также ЛПР может вносить ряд поправок в рассматриваемый бизнес-процесс и в режиме реального времени наблюдать потенциально точный результат от этих корректировок, не расходуя ресурсов, связанных с изменениями в реальном бизнес-процессе.

Литература

1. Джулий Л.В., Емчук Л.В. Информационные системы и их роль в деятельности современных предприятий // *Perspective economic and management issues. Collection of scientific articles. Scientific journal «Economics and finance»*, «East West» Association For Advanced Studies and Higher Education. – 2015. – С. 130-134.
2. Скрипник Д.В., Яхонтова И.М. Современные подходы к имитационному моделированию бизнес-процессов // *Информационное общество: современное состояние и перспективы развития*. – 2017. – С. 83-85.
3. Богданова Е.А., Шерстянкина А.А. Имитационное моделирование как инструмент принятия решений // *Технические науки*. – 2017. – №6. – С. 25-28.
4. Димов Э.М., Маслов О.Н., Скворцов А.Б. Новые информационные технологии: подготовка кадров и обучение персонала. Часть 1. Реинжиниринг и управление бизнес-процессами в инфокоммуникациях. – М.: ИРИАС, 2005. – 386 с.
5. Димов Э.М., Маслов О.Н., Пчеляков С.Н., Скворцов А.Б. Новые информационные технологии: подготовка кадров и обучение персонала. Часть 2. Имитационное моделирование и управление бизнес-процессами в инфокоммуникациях. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2008. – 350 с.
6. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 380 с.
7. Димов Э.М., Маслов О.Н., Швайкин С.К. Имитационное моделирование, реинжиниринг и управление в компании сотовой связи (новые информационные технологии). – М.: Радио и связь, 2001. – 256 с.
8. Кобелев Н.Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем. – М.: Дело, 2003. – 336 с.
9. Ануфриев Д.П., Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В. Статистическое имитационное моделирование и управление бизнес-процессами в социально-экономических системах. – Астрахань: Изд-во АстИСИ, 2015. – 366 с.
10. Маслов О.Н., Халимов Р.Р., Димов Э.М., Трошин Ю.В. Динамика разработки имитационной модели бизнес-процесса // *Инфокоммуникационные технологии*. – 2013. – Т.11. – №1. – С.63-77.

Получено 10.01.2019

Богданова Елена Александровна, к.т.н., доцент Кафедры прикладной информатики Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-36. E-mail: helen.bogdan@mail.ru

Михаленко Юлия Александровна, студентка ПГУТИ. Тел. 8-917-968-28-81. E-mail: mihalenko97@mail.ru

APPLICATIONS OF SIMULATION IN THE BUSINESS PROCESS*Bogdanova E.A., Mikhailenko I.A.**Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation**E-mail: helen.bogdan@mail.ru*

The article presents the rationale for the application of statistical simulation modeling as one of the methods for processing large amounts of data, which can significantly improve the efficiency of decisions taken in various fields of activity. The issues related to the development of a statistical simulation model of a business process for finding and selecting a supplier of products are considered on the example of an organization for the production of dairy products. A flowchart of the business process, its detailed description is given, and an analysis of the business process under consideration in the interests of simulation modeling is conducted, during which the random variables that are most significant for the simulation of this process are highlighted. To create a model, the laws of distribution of all selected random variables were determined, a modeling algorithm and a model experiment plan were developed. The article presents the result of an experiment conducted on a simulation model.

Keywords: *simulation modeling, digital economy, business process, random variable, simulation model, simulation algorithm*

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.09

Bogdanova Elena Aleksandrovna, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Applied Informatics, PhD in Technical Science. Tel. +78462280036. E-mail: helen.bogdan@mail.ru

Mikhailenko Iuliia Aleksandrovna, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moscovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; student. Tel. +789179682881. E-mail: mihalenko97@mail.ru

References

1. Julie L.V., Yemchuk L.V. Information systems and their role in the activities of modern enterprises. *Perspective economic and management issues Collection of scientific articles. Scientific journal «Economics and finance»*, «East West» Association For Advanced Studies and Higher Education, 2015, pp. 130-134.
2. Skripnik D.V., Yakhontova I.M. Sovremennye podhody k imitacionnomu modelirovaniyu biznes-processov [Modern approaches to simulation of business processes]. *Informacionnoe obshchestvo: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya*, 2017, pp. 83-85.
3. Bogdanova E.A., Sherstyankin A.A. Imitacionnoe modelirovanie kak instrument prinyatiya resheniy [Simulation modeling as a decision-making tool]. *Tekhnicheskie nauki*, 2017, no. 6, pp. 25-28.
4. Dimov E.M., Maslov O.N., Skvorcov A.B. New information technologies: training and personnel training. Part 1. Reengineering and business process management in infocommunications. Scientific publication. Moscow, IRIAS, 2005. 386 p.
5. Dimov E.M., Maslov O.N., Pcheljakov S.N., Skvorcov A.B. *Novye informatsionnye tehnologii: podgotovka kadrov i obuchenie personala. Ch. 2. Imitatsionnoe modelirovanie i upravlenie biznes-processami v infokommunikacijah* [New information technologies: personnel training. P.2. Simulation modelling and management of business processes in infocommunications]. Samara, SNC RAN Publ., 2008, 350 p.
6. Buslenko N.P. *Modelirovanie slozhnyh sistem* [Modeling of complex systems]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 380 p.
7. Dimov E.M., Maslov O.N., Shvaykin S.K. *Imitacionnoe modelirovanie, reinzhiniring i upravlenie v kompanii sotovoy svyazi (novye informacionnye tehnologii)* [Simulation, reengineering and management in a cellular company (new information technologies)]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 2001. 256 p.
8. Kobelev N.B. *Osnovy imitacionnogo modelirovaniya slozhnyh ekonomicheskikh sistem* [Fundamentals of simulation modeling of complex economic systems]. Moscow, Delo Publ., 2003. 336 p.
9. Anufriev D.P., Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Y.V. Statisticheskoe imitacionnoe modelirovanie i upravlenie biznes-processami v social'no-ekonomicheskikh sistemah [Statistical simulation modeling and management of business processes in socio-economic systems]. Astrahan, AstrISMI Publ. 2015. 365 p.

10. Maslov O.N., Khalimov R.R., Dimov E.M., Troshin Yu.V. Dinamika razrabotki imitacionnoy modeli biznes-processa [Dynamics of development of a business process simulation model]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2013, no. 1, pp. 63-77

Received 10.01.2019

УДК 681.586.5

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СЕНСОРОВ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ СТУПЕНЧАТОГО ВОЛОКНА С ПЕРЕТЯЖКОЙ

Головкина М.В.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: nauka77@yandex.ru

В работе рассматривается сенсор на основе ступенчатого оптического волокна, содержащего макроструктурный дефект типа «перетяжка». Такие сенсоры используются при проведении биологических исследований для точного определения показателя преломления биологического раствора. В работе исследуется случай, когда диаметр перетяжки настолько мал, что влиянием сердцевины оптического волокна на характеристики распространяющихся мод высших порядков можно пренебречь. Сигнал в виде основной моды подается на вход оптического сенсора, в перетяжке энергия основной моды преобразуется в энергию мод высших порядков, скорость распространения и постоянные распространения которых зависят от эффективного показателя преломления волокна и окружающей среды. При этом возникают интерференционные эффекты, которые становятся существенными при определенной длине волны. На выходе из сенсора измеряется интерференционный сигнал, величина которого зависит как от геометрических размеров сенсора, так и от показателя преломления окружающей среды. В работе рассматривается уравнение Максвелла для ступенчатого волокна и проводится его численное решение для случая малого диаметра перетяжки. На основе полученного численного решения рассматривается интерференционный сигнал на выходе из оптического сенсора с перетяжкой и учитывается влияние показателя преломления окружающей среды на его характеристики. Показано, что исследуемый сенсор при определенном выборе геометрических размеров перетяжки обладает достаточной чувствительностью для определения разницы показателя преломления, равной 0,0001.

Ключевые слова: оптический сенсор, перетяжка, уравнения Максвелла, моды, показатель преломления

Введение

В настоящее время внимание инженеров-конструкторов и исследователей обращено на создание высокоэффективных сенсоров на основе оптического волокна. Достоинством оптоволоконных сенсоров и датчиков является высокая чувствительность к изменению внешних параметров и малые размеры. Такие датчики могут использоваться для измерения температуры, давления, электрического тока, магнитного поля, вибрации, кручения, механического смещения, показателя преломления [1]. В основе конструкции таких оптических датчиков лежат различные физические явления: поглощение и отражение света, интерференция, явление двойного лучепреломления, эффект Фарадея, эффект Керра, флуоресценция, хемилюминесценция, вращение плоскости поляризации и другие [2].

Широкое распространение находят сенсоры на основе волоконных брэгговских решеток [3], различные интерферометрические схемы [4]. Волоконно-оптические датчики, работающие на

эффекте поверхностного плазмонного резонанса, находят все большее применение в биологических исследованиях и в медицине. В основе работы таких датчиков лежит эффект поверхностного плазмонного резонанса, возникающего на границе раздела двух сред, одна из которых обладает отрицательным показателем преломления. При этом в качестве среды с отрицательным показателем преломления может выступать как металл, так и различные композитные среды, содержащие нановключения различной формы [5-6]. Также для создания различных сенсоров применяются оптические волокна с нанесенными на них макроструктурными дефектами, например, волокна с перетяжкой [7].

Сенсоры на основе оптического волокна имеют следующие преимущества: простая конструкция, малый размер, удобство в применении. Такие волоконно-оптические сенсоры также находят широкое применение для детектирования биологических объектов или органических растворов в биомедицинских исследованиях, давая информацию в режиме реального времени. Малый раз-

мер таких сенсоров позволяет интегрировать их в различные медицинские приборы и использовать в труднодоступных местах. В данной работе рассматривается расчет параметров сенсора для определения показателя преломления внешней среды на основе оптического волокна с перетяжкой.

Геометрия задачи

Рассмотрим ступенчатое оптическое волокно с перетяжкой (см. рисунок 1). В сенсоре, который работает на основе такого волокна, сигнал поступает в основной моде HE_{11} на конец недеформированного волокна. В области перетяжки кроме фундаментальной моды возникают моды высших порядков, при этом эванесцентное поле этих мод при выполнении ряда условий может выходить за пределы волокна и влиять на поведение показателя преломления внешней среды. В конце перетяжки моды более высокого порядка преобразуются обратно в основную моду.

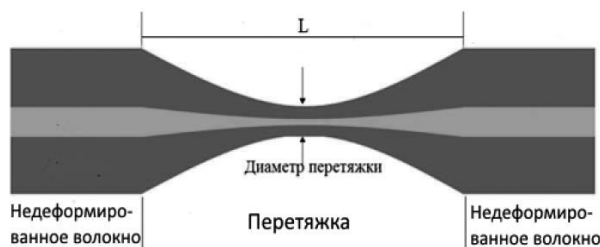


Рисунок 1. Схематическое изображение оптического волокна с перетяжкой

Моды высших порядков распространяются с разными скоростями из-за различий в эффективных показателях преломления. Причем эти моды испытывают интерференцию, которая может приводить как к усилению, так и к ослаблению результирующего сигнала на выходе. Поэтому полная интенсивность света, передаваемая на выходе волокна, в значительной степени определяется интерференцией между модами и их постоянными распространения.

Распространение света в оптическом волокне с перетяжкой описывается уравнениями Максвелла, решение которых хорошо известно. Уравнение Максвелла для ступенчатого оптического волокна описывает поведение гибридных мод HE и EH, для которых $E_z \neq 0$ и $H_z \neq 0$. Это же уравнение описывает поведение фундаментальной моды HE_{11} .

Для гибридных мод, являющихся решением уравнения Максвелла, можно выделить два случая в зависимости от соотношения показателей преломления сердцевины и оболочки. Первый случай

– это случай слабонаправляющих волокон, когда показатели преломления сердцевины n_1 и оболочки n_2 волокна близки по величине $n_1 \approx n_2$, что реализуется в обычном ступенчатом волокне. Второй случай – когда показатели преломления сердцевины n_1 и оболочки n_2 существенно отличаются друг от друга, для его практической реализации необходимо создать сенсор с очень малым диаметром перетяжки.

В области перетяжки возникают моды высших порядков, при этом оптическая мощность основной моды перераспределяется между модами высших порядков и оболочечными модами. При достаточно сильном уменьшении диаметра волокна в области перетяжки можно добиться режима, в котором энергия оптического излучения практически полностью сосредотачивается в энергии оболочечных мод. В таком случае диаметр сердцевины оптического волокна будет настолько мал, что можно рассматривать распространение мод на границе оболочка – внешняя среда, не учитывая параметров сердцевины. Тогда и наблюдается большая разница между показателем преломления оболочки оптического волокна и показателем преломления окружающей среды (например, $n = 1$ для воздуха, $n = 1,33$ для воды). При этом для расчетов параметров мод уже нельзя применять аппроксимацию слабонаправляющих волокон.

Именно второй случай рассматривается при использовании оптических волокон с перетяжкой в качестве биологических сенсоров, реагирующих на изменение показателя преломления внешней окружающей среды. В данной работе рассматривается второй случай с большой разницей между показателями преломления оболочки и окружающей среды. Далее для удобства будем применять следующие обозначения: n_c – показатель преломления сердцевины (в данном случае за показатель преломления сердцевины принимаем показатель преломления оболочки волокна, а влиянием сердцевины пренебрегаем), n_s – показатель преломления оболочки (в данном случае за показатель преломления оболочки принимаем показатель преломления окружающей среды, который нужно измерить). При дальнейших расчетах будем пренебрегать изменением диаметра перетяжки при переходе от области перетяжки к области недеформированного волокна.

Графическое решение волнового уравнения для ступенчатого оптического волокна

Запишем уравнение, описывающего поведение мод в перетяжке рассматриваемого ступенчатого оптического волокна [8]:

$$\frac{k_0^2 n_c^2 - k^2}{a^2} \left[\frac{1}{\gamma^2} + \frac{1}{k^2} \right] = \left[-\frac{J_2(ka)}{kJ_1(ka)} + \frac{1}{ak^2} - \frac{K_2(\gamma a)}{\gamma K_1(\gamma a)} + \frac{1}{a\gamma^2} \right] \cdot \left[-k_0^2 n_c^2 \frac{J_2(ka)}{kJ_1(ka)} + \frac{1}{ak^2} - k_0^2 n_c^2 \frac{K_2(\gamma a)}{\gamma K_1(\gamma a)} + \frac{1}{a\gamma^2} \right]. \quad (1)$$

Здесь a – радиус сердцевинки (следует помнить, что в данной модели это радиус перетяжки, так как влиянием сердцевинки мы пренебрегаем); $k_0 = \omega / c$, ω – циклическая частота передаваемого сигнала, c – скорость света в вакууме, J_ν – функция Бесселя первого рода, $k^2 = k_0^2 n^2 - \beta^2$ – поперечное волновое число для сердцевинки, β – продольное волновое число (постоянная распространения), K_ν – модифицированная функция Бесселя второго рода, $\lambda^2 = \beta^2 - k_0^2 n^2$.

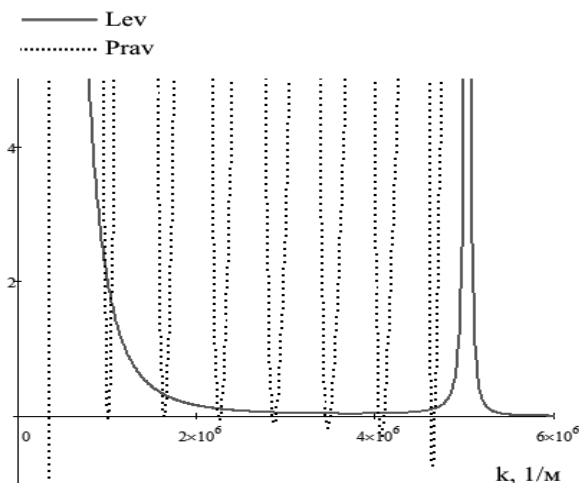


Рисунок 2. Графическое решение уравнения (1) для длины волны 1310 нм

Приведем решение уравнения (1) для случая ступенчатого оптического волокна с показателем преломления $n_c = 1,457$. Радиус волокна в перетяжке 5 мкм, длина перетяжки $L = 400$ мкм. Целью работы является исследование влияния показателя преломления окружающей среды на распространение электромагнитных волн в перетяжке.

Для решения поставленной задачи обозначим левую часть уравнения (1) как функцию Lev, правую часть уравнения (1) как функцию Prav [9]. Построим графики функции Lev и Prav в зависимости от поперечного волнового числа k . Результаты численного решения уравнения (1) графическим методом для длины волны 1310 нм изображены на рисунке 2.

Анализ численных результатов позволяет получить зависимость постоянной распространения β от длины волны применяемого излучения и учесть

влияние показателя преломления окружающей среды на величину постоянных распространения различных мод. Следует отметить, что при изменении показателя преломления внешней среды, в роли которого может выступать биологический раствор, меняется количество мод высших порядков, возникающих в перетяжке оптического сенсора.

На рисунке 3 представлены результаты численного решения уравнения (1) для оптического волокна с перетяжкой радиусом 5 мкм. Показатель преломления окружающей среды $n = 1,40$. В данном случае в перетяжке возникают три моды высших порядков, постоянные распространения которых уменьшаются с ростом длины волны. Для дальнейшего анализа необходимо исследовать поведение разности между постоянными распространения отдельных мод.

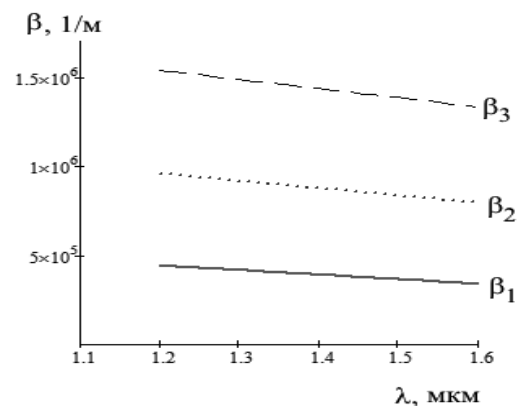


Рисунок 3. График зависимости постоянных распространения первых трех мод от длины волны для оптического сенсора с перетяжкой

Результаты расчета указанной разности, зависящей от длины волны, для оптического волокна с перетяжкой радиусом 5 мкм и показателем преломления окружающей среды $n = 1,40$ приведены на рисунке 4.

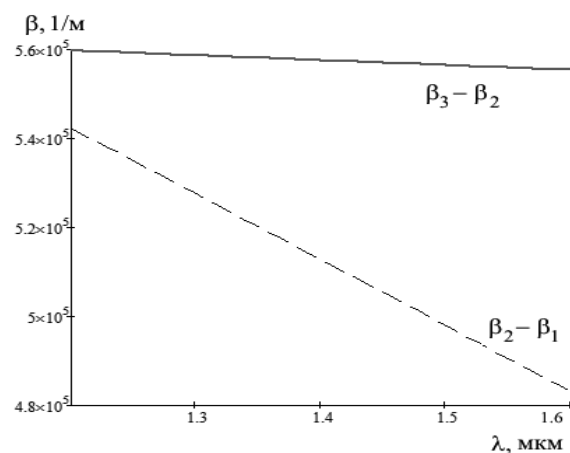


Рисунок 4. График зависимости разности постоянных распространения для первых трех мод от длины волны для оптического сенсора с перетяжкой

Наибольший интерес представляют моды, у которых разность между постоянными распространения претерпевает наиболее сильные изменения (это моды с наименьшими постоянными распространения). Особенностью рассматриваемого сенсора является также существенная зависимость постоянных распространения и разности между постоянными распространения отдельных мод от показателя преломления внешней среды.

Расчет параметров сенсора на основе оптического волокна с перетяжкой

Как было отмечено выше, значительное уменьшение диаметра волокна в области перетяжки приводит к тому, что энергия мод из области сердцевинки перераспределяется в энергию оболочечных мод. Из-за уменьшенного размера волокна в области перетяжки распространяющаяся электромагнитная волна имеет незатухающий компонент в окружающей среде за счет возникновения оболочечных мод. Пройдя через область перетяжки, электромагнитная волна соединяется обратно в одну моду одномодового волокна.

Вблизи области перетяжки эванесцентное поле мод высших порядков взаимодействует с материалами вблизи поверхности волокна, оказывая влияние на дальнейшее распространение сигнала в волокне. При этом интерференционный сигнал, который измеряется на выходе из оптического волокна с перетяжкой, существенным образом зависит даже от небольших изменений показателя преломления окружающей среды.

Итак, сигнал подается на один конец волокна с перетяжкой. Сигнал, измеренный на другом конце волокна, обусловлен разностью фаз между различными модами, которые являются затухающими в окружающей среде, роль которой играет воздух, вода или различные растворы, показатель преломления которых подлежит измерению. Интенсивность m -ой моды в области перетяжки выражается следующей формулой

$$I = \sum_n I_n + 2 \sum_{n>m} \sqrt{I_m I_n} \cos \Delta \varphi_{mn}, \quad (2)$$

где разность фаз между двумя различными модами определяется по формуле

$$\Delta \varphi_{nm} = (\beta_n - \beta_m)L, \quad (3)$$

L – длина перетяжки. Таким образом, интенсивность сигнала на выходе сенсора на основе оптического волокна с перетяжкой зависит от следующей функции

$$\cos[\Delta \varphi_{nm}] = \cos[(\beta_n - \beta_m)L]. \quad (4)$$

Задачей данного исследования является учет влияния изменения показателя преломления внешней среды на вид функции (4), а, соответственно, на интенсивность выходного сигнала (2). На рисунке 5 представлены результаты расчета зависимости функции $\cos[(\beta_n - \beta_m)L]$ от длины волны для двух случаев: в первом случае окружающая среда представляет собой биологический раствор с показателем преломления $n_s = 1,40$, во втором случае – с показателем преломления $n_s = 1,41$.

Из рисунка 5 видно, что вследствие наличия зависимости постоянных распространения различных мод от показателя преломления окружающей среды даже небольшое изменение показателя преломления окружающей среды в $\Delta n = 0,01$ приводит к сдвигу спектральной характеристики на выходе из волокна с перетяжкой. В абсолютном выражении изменение показателя преломления окружающей среды на $\Delta n = 10^{-2}$ приводит к сдвигу спектральной характеристики на $\Delta \lambda = 17$ нм.

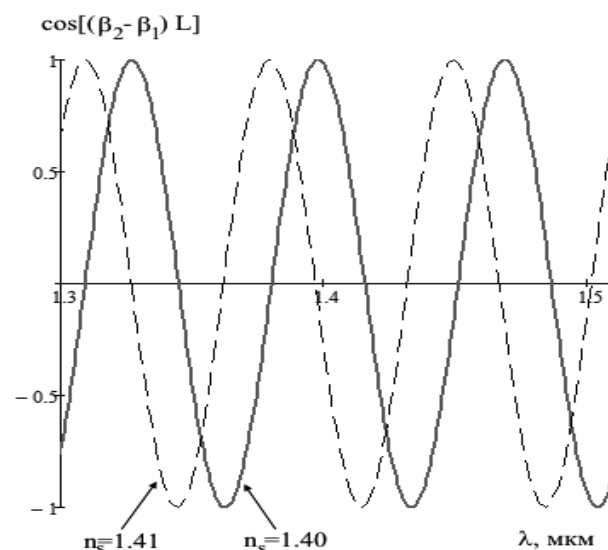


Рисунок 5. Графики зависимости функции $\cos[(\beta_n - \beta_m)L]$ от длины волны для показателей преломления окружающей среды $n_s = 1,40$ и $n_s = 1,41$

На рисунке 6 представлены результаты расчета зависимости функции $\cos[(\beta_n - \beta_m)L]$ от длины волны для двух случаев: окружающая среда в виде раствора с показателями преломления $n_s = 1,400$ и $1,401$. Результаты численного расчета показывают, что изменение показателя преломления окружающей среды на $\Delta n = 10^{-3}$ приводит к сдвигу спектральной характеристики на $\Delta \lambda = 7$ нм.

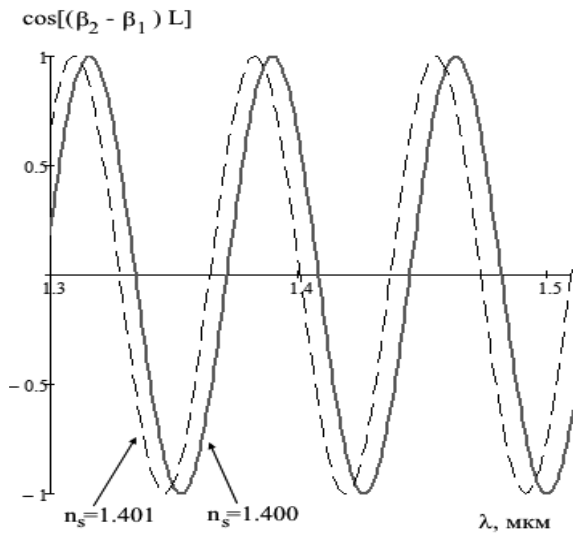


Рисунок 6. Графики зависимости функции $\cos[(\beta_n - \beta_m)L]$ от длины волны для показателей преломления окружающей среды $n_s = 1,4$ и $1,401$

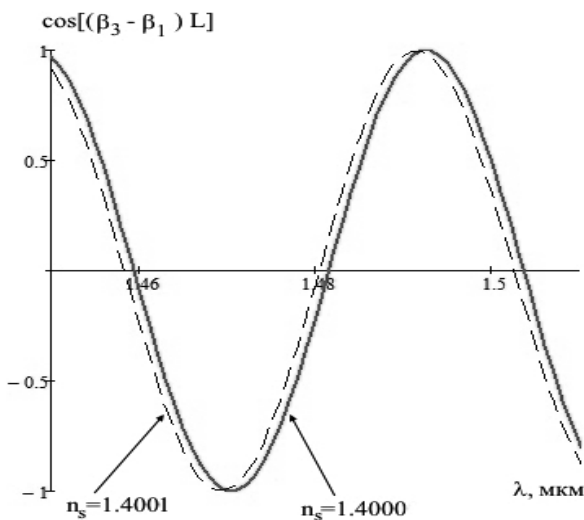


Рисунок 7. Графики зависимости функции $\cos[(\beta_n - \beta_m)L]$ от длины волны для показателей преломления окружающей среды $n_s = 1,4$ и $1,4001$

На рисунке 7 представлены результаты расчета зависимости функции $\cos[(\beta_n - \beta_m)L]$ от длины волны для показателей преломления окружающего раствора, равных $n_s = 1,4000$ и $n_s = 1,4001$. Как видно из рисунка 7, изменение показателя преломления окружающей среды на $\Delta n = 10^{-4}$ приводит к сдвигу спектральной характеристики на $\Delta \lambda = 1$ нм. Такой сдвиг спектральной характеристики говорит о достаточно высокой чувствительности рассматриваемого сенсора, полученной за счет подбора его параметров.

Сравним полученную чувствительность с чувствительностью сенсора на основе оптического волокна с перетяжкой, описанного в работе [9], для которого изменение показателя преломления

на $\Delta n = 0,0021$ приводит к сдвигу спектральной характеристики на $\Delta \lambda = 3$ нм. Также сравним результаты для сенсора на основе волокна РММА с графеном при наличии перетяжки, предназначенного для измерения показателя преломления растворов разной концентрации [10]. Для такого сенсора изменение показателя преломления окружающей среды на $\Delta n = 0,0018$ приводит к сдвигу спектральной характеристики на $4,6$ нм [10]. Таким образом, рассмотренный в работе сенсор имеет высокую чувствительность и может применяться для измерения показателей преломления биологических растворов.

Заключение

В работе рассмотрен сенсор на основе оптического волокна с перетяжкой для определения показателя преломления биологических растворов. На основе численного решения уравнений Максвелла определены параметры сенсора, демонстрирующие наибольшую чувствительность к изменению показателя преломления исследуемых растворов.

Литература

1. Budinski V., Donlagic D. Fiber-optic sensors for measurements of torsion, twist and rotation: A review // *Sensors (Basel)*. – 2017. – Vol.17. – No.3. – P. 443. DOI: 10.3390/s17030443.
2. Pu S., Dong S. Magnetic field sensing based on magnetic-fluid-clad fiber-optic structure with up-tapered joints // *IEEE Photonics Journal*. – 2014. – Vol.6. – N.4. – P. 5300206-1 – 5300206-7. DOI: 10.1088/2040-8986/aac68d.
3. Qi T., Xiao J., Yi L., Zhou Z., Bi M., Hu W. Cladding-mode backward-recoupling-based displacement sensor incorporating fiber up taper and bragg grating // *IEEE Photonics Journal*. – 2013. – Vol. 5. – No. 4. – P. 7100608-1 – 7100608-8. DOI: 10.1364/OL.37.004480.
4. Zhang S., Zhang W., Gao S., Geng P., Xue X. Fiber-optic bending vector sensor based on Mach-Zehnder interferometer exploiting lateral-offset and up-taper // *Optics letters*. – 2012. – Vol. 37. – No. 21. – P. 4480-4482. DOI: 10.1109/JPHOT.2014.2332476.
5. Golovkina M.V. Periodic semiconductor structures with metamaterials // *International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON-2009*. – 2009. – P. 133-137. DOI: 10.1109/JPHOT.2013.2274770.
6. Golovkina M.V. Electromagnetic wave propagation in a multilayered periodic structure containing negative index material // *IEEE*

- International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON-2007.–2007.–P.174-178. DOI: 10.1109/SIBCON.2009.5044843.
7. Correia R., James S., Lee S.-W., Morgan S. P., Korposh S. Biomedical application of optical fibre sensors // *Journal of Optics*. – 2018. – Vol. 20. – P. 073003-1-073003-25. DOI: 10.1109/SIBCON.2007.371320.
 8. Дифракционная оптика и нанофотоника. Под ред. В.А. Сойфера. – М.: Физматлит, 2014. – 608 с.
 9. Negari A.B.H., Jauregui D., Hernandez J.M.S. et al. Phase sensitive signal analysis for bi-tapered optical fibers // *Proceedings SPIE Biophysics, Biology, and Biophotonics: the Crossroads*. – 2016. – Vol. 9719. – P. 971907. DOI: 10.1117/12.2208934.
 10. Ri-Qing Lv, Qi Wang, Bo-Tao Wang, Yu Liu, Lingxin Kong. Polymer microfiber bridging Bi-tapered refractive index sensor based on evanescent field // *Optics Communications*. – 2018. – Vol. 414. – P. 134-139. DOI: 10.1016/j.optcom.2017.12.063.

Получено 15.11.2018

Головкина Мария Вилевна, к.ф.-м.н., доцент Кафедры физики Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-37. E-mail: nauka77@yandex.ru

INTERFERENCE SIGNAL ANALYSIS FOR BI-TAPERED FIBER SENSOR

Golovkina M.V.

Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: nauka77@yandex.ru

In this paper the characteristics of bi-tapered optical fibers for biomolecular sensing are considered. This highly sensitive fiber sensor can be used for the label-free detection of biomolecules and for refractive index sensing. The presence of bi-tapered region with small diameter leads to the transformation of the fundamental mode energy into the energy of higher-order modes. The availability of multiple modes creates an interference pattern in the output signal. The magnitude of the interference output signal depends on the geometric sizes of the sensor and on the refractive index of the surrounding medium. In this paper, Maxwell's equation for step-index fiber is considered and its numerical solution is performed. Based on the obtained numerical solution, the magnitude of the output signal is calculated depending on the refractive index of a biological solution. It is shown that the sensor studied has a high sensitivity to the change in the refractive index.

Keywords: tapered optical fibers, optical fiber sensor, modal analysis, refractive index measurements

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.10

Golovkina Maria Vilevna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Physics, PhD in Physics and Mathematics. Tel. +78462280037. E-mail: nauka77@yandex.ru

References

1. Budinski V, Donlagic D. Fiber-optic sensors for measurements of torsion, twist and rotation: A review. *Sensors (Basel)*, 2017, vol. 17, no. 3, pp. 443. DOI: 10.3390/s17030443.
2. Correia R., James S., Lee S.-W., Morgan S. P., Korposh S. Biomedical application of optical fibre sensors. *Journal of Optics*, 2018, vol. 20, pp. 073003-1-073003-25. DOI: 10.1088/2040-8986/aac68d.
3. Zhang S., Zhang W., Gao S., Geng P., Xue X. Fiber-optic bending vector sensor based on Mach-Zehnder interferometer exploiting lateral-offset and up-taper. *Optics letters*, 2012, vol. 37, is. 21, pp. 4480-4482. DOI: 10.1364/OL.37.004480.
4. Pu S., Dong S. Magnetic field sensing based on magnetic-fluid-clad fiber-optic structure with up-tapered joints. *IEEE Photonics Journal*, 2014, vol. 6, no. 4, pp. 5300206-1-5300206-7. DOI: 10.1109/JPHOT.2014.2332476.
5. Qi T., Xiao J., Yi L., Zhou Z., Bi M., Hu W. Cladding-mode backward-recoupling-based displacement sensor incorporating fiber up taper and bragg grating. *IEEE Photonics Journal*, 2013, vol. 5, no. 4, pp. 7100608-1-7100608-8. DOI: 10.1109/JPHOT.2013.2274770.

6. Golovkina M.V. Periodic semiconductor structures with metamaterials. *International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON-2009*, 2009, pp. 133-137. DOI: 10.1109/SIBCON.2009.5044843.
7. Golovkina M.V. Electromagnetic wave propagation in a multilayered periodic structure containing negative index material. *IEEE International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON-2007*, 2007, pp. 174-178. DOI: 10.1109/SIBCON.2007.371320.
8. Soyfer V.A. *Difrakzionnaya optika i nanofotonika*. [Diffractive optics and nanophotonics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2014, 608 p.
9. Negari A.B.H., Jauregui D., Hernandez J.M.S., Mina D.G., King B. J., Idehenre I., Powers P.E., Hansen K.M., Haus J.W. Phase sensitive signal analysis for bi-tapered optical fibers. *Proceedings SPIE, Biophysics, Biology, and Biophotonics: the Crossroads*, 2016, vol. 9719, pp. 971907. DOI: 10.1117/12.2208934.
10. Ri-Qing Lv, Qi Wang, Bo-Tao Wang, Yu Liu, Lingxin Kong. Polymer microfiber bridging Bi-tapered refractive index sensor based on evanescent field. *Optics Communications*. 2018. V. 414. P. 134-139. DOI: 10.1016/j.optcom.2017.12.063.

Received 15.11.2018

УДК 004.053: 004.054

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ АРХИТЕКТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ iOS ПРИЛОЖЕНИЯ «ГОСУСЛУГИ МОСКВЫ» ЧЕРЕЗ ТЕСТИРОВАНИЕ

Богомолова М.А., Клементьев С.А.

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: bogomolova-ma@psuti.ru*

Представлена методика тестирования модулей мобильного приложения на платформе iOS «Госуслуги Москвы» через тестирование. Предложенная методика ориентирована на архитектуру приложения iOS «Госуслуги Москвы» и может применяться при разработке сцен приложения. На примере разработки сцены регистрации социальной карты москвича, используя разработанную методику, по техническому заданию поэтапно реализованы три архитектурных компонента View Controller, Interactor и Presenter: сцены в виде классов, а также реализованы тесты модулей для этих классов. Написанный код показывает особенности разработки и может использоваться в качестве примера для создания новых сцен. Использование методики модульного тестирования мобильного приложения iOS «Госуслуги Москвы» позволяет уменьшить количество дефектов в приложении, уменьшает стоимость исправления дефектов, способствует написанию более чистого кода и проектированию удобных интерфейсов классов.

Ключевые слова: *модульное тестирование, unit-тестирование, test-driven development, TDD, Clean Swift, mock-объект, spy-объект, объект-шпион*

Введение

В настоящее время осуществляется проект разработки мобильного приложения iOS «Госуслуги Москвы», объединяющего востребованные услуги Правительства Москвы. На данный момент проект содержит более чем 1500 файлов с исходным кодом. Кроме того, постепенно в приложение добавляется новая функциональность, вследствие чего увеличивается количество файлов и меняется исходный код, в нем с большой вероятностью появляются регрессионные ошибки (когда работающий функционал сломали неаккуратными изменениями). Действенным решением этой проблемы является модульное тестирование (unit-тестирование) – одна из ключевых практик методологии экстремального программирования. Здесь unit (модуль) – это малый по объему само-

достаточный участок кода, реализующий определенное поведение, который часто (но не всегда) является классом.

Модульное тестирование заключается в изолированной проверке на корректность и работоспособность каждого отдельного модуля исходного кода – тестирование с высокой гранулярностью. То есть идея состоит в том, чтобы создавать тесты для каждой нетривиальной функции или метода [1]. Это позволяет достаточно быстро проверить, не привело ли очередное изменение кода к регрессии, то есть к появлению ошибок в уже протестированных местах программы, а также облегчает их обнаружение и устранение.

В Unit-тестировании используется два подхода к созданию тестов:

– разработка через тестирование (test-driven development, TDD);

– создание тестов для готовых методов.

В данном исследовании применен первый подход. Рассмотрим предлагаемую методику разработки архитектурных компонентов мобильного приложения iOS «Госуслуги Москвы» через тестирование. Эта техника основана на итеративном цикле разработки: написание теста, покрывающего желаемое изменение, затем написание кода, который позволит пройти тест, далее рефакторинг нового кода к соответствующим стандартам. Так формируется устройство классов и модулей, в то время как все изменения в коде направляют модульные тесты [2-3].

Для написания исходного кода и кода тестов модулей выбран язык программирования Swift, применяется встроенная библиотека XCTest (предназначена для создания и запуска модульных тестов производительности и тестов пользовательского интерфейса), поддерживаемая средой Xcode. В Xcode все создаваемые приложения возможно тестировать без необходимости загрузки программ на реальные устройства.

Архитектура приложения

Предлагаемая методика ориентирована на архитектуру приложения iOS «Госуслуги Москвы» и может применяться при разработке сцен приложения. На рисунке 1 изображены архитектурные модули приложения. Большинство экранов приложения реализовано с использованием архитектуры Clean Swift.

Рассмотрим VIP цикл в архитектуре Clean Swift. View Controller, Interactor, Presenter – это три основных компонента сцены в CleanSwift, каждый из которых ответственен за выполнение своей задачи. Interactor содержит бизнес-логику и выполняет работу над данными, совершает сетевые запросы. Presenter осуществляет форматирование данных. View Controller работает с графическим интерфейсом и отображает данные пользователю.

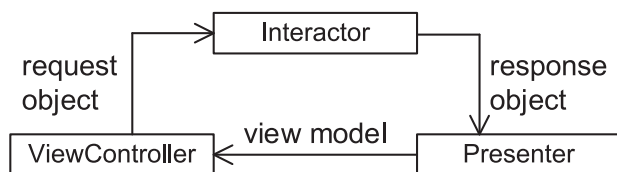


Рисунок 1. Архитектура Clean Swift

Типичный сценарий при этом включает следующие действия.

1. Пользователь нажимает на кнопку в пользовательском интерфейсе приложения.

2. Жест нажатия попадает в View Controller через IBAction.

3. View Controller создает объект запроса (request object) и отправляет его в Interactor.

4. Interactor получает объект запроса, выполняет работу, создает объект ответа, помещает в него результат работы, отправляет объект ответа (response object) в Presenter.

5. Presenter получает объект ответа, форматирует результаты, помещает результаты в модель отображения (view model), отправляет модель отображения компоненту View Controller.

6. View Controller отображает результат пользователю.

Блок-схема алгоритма методики

Для описания разработанной методики использована блок-схема алгоритма действий, выполняемых программистом при разработке сцены приложения (см. рисунок 2).

В блоках 2-17 описана последовательность действий подготовки классов, необходимых для написания кода тестов.

В блоках 2-4 создаются три класса, являющиеся архитектурными модулями сцены: (Имя сцены) Interactor, (Имя сцены) View Controller, (Имя сцены) Presenter Spy.

В блоке 5 архитектурные модули связываются между собой через протоколы. Протоколы описывают, какие данные и сообщения могут передавать друг другу архитектурные модули. Класс (Имя сцены) Interactor соответствует протоколу выхода (Имя сцены). В данном исследовании применен первый подход. Рассмотрим предлагаемую методику разработки архитектурных компонентов мобильного приложения iOS «Госуслуги Москвы» через тестирование.

В модуле View Controller класс (Имя сцены) соответствует протоколу выхода (Имя сцены) Presenter. Класс (Имя сцены) Presenter соответствует протоколу выхода (Имя сцены) Interactor.

В блоках 6-8 создаются классы, содержащие тесты. Один класс тестов соответствует одному архитектурному модулю. Например, класс (Имя сцены) PresenterTests содержит тесты для модуля (Имя сцены) Presenter.

В блоках 9-11 определяются классы-шпионы (Spy) в каждом классе, содержащем тесты. Так как архитектурные модули соединены между собой, используя объекты-шпионы, можно отслеживать данные, передаваемые между модулями. В классе (Имя сцены) Interactor Tests объявляется класс шпион (Имя сцены) Presenter Spy. В классе (Имя сцены) PresenterTests объявляется класс-

шпион (Имя сцены) View Controller Spy. В классе (Имя сцены)View Controller Tests объявляется класс-шпион (Имя сцены) Interactor Spy.

В блоках 12-14 в классах тестов создаются ссылки типа тестируемых объектов, то есть класс (Имя сцены) PresenterTests класс будет содержать ссылку на (Имя сцены) Presenter.

В блоках 15-17 описываются методы Setup (Имя сцены) Presenter, Setup (Имя сцены) View Controller, Setup (Имя сцены) Interactor. Методы предназначены для базовой настройки тестовых объектов и вызываются перед запуском тестовых методов. Это позволяет не загромождать код самих тестов и избавляет от повторения кода.

В данных методах происходит создание тестируемого объекта архитектурного модуля, присвоение ссылок, созданных в пунктах 12-14 на созданный объект. Создается объект-шпион и устанавливается выходом для объекта архитектурного модуля. Возможны и другие настройки специфичные для объекта.

В блоке 18 происходит выбор одного из архитектурных модулей для реализации. Порядок реализации не принципиален.

Блоки 19-33 содержат цикл разработки тестов и рабочего функционала для выбранного архитектурного модуля.

Алгоритм считается завершенным, когда для всех трех модулей реализован полный набор тестов и рабочий код, который дает положительный результат прохождения тестов.

Разработка сцены приложения регистрации социальной карты москвича

С целью демонстрации принципов работы разработанной методики описан процесс разработки сцены приложения и ее покрытия тестами. Разработанная сцена предназначена для регистрации пользователем социальной карты москвича (СКМ) (см. рисунок 3).

Рассмотрим пользовательский сценарий. Предусловие: пользователь авторизован в приложении.

1. Пользователь на экране услуги СКМ иницирует регистрацию СКМ.

2. Клиент отображает экран регистрации СКМ: номер телефона по умолчанию заполнен номером телефона из профиля пользователя и недоступен для редактирования.

3. Пользователь вводит в поле номер и серию карты одним из следующих способов:

– пользователь вводит вручную (в полиграфическом виде): клиент отображает введенный

номер на экране и преобразует его в канонический вид для отправки в запросе;

– пользователь сканирует карту: клиент получает номер в каноническом виде, преобразует его в полиграфический вид и отображает в поле ввода на экране.

4. Пользователь продолжает процесс регистрации;

5. Клиент осуществляет запрос методом registrCard (зарегистрировать карту) и обрабатывает ответ сервера:

– если регистрация прошла успешно, переход на следующий шаг;

– если сервер вернул ошибку регистрации, клиент отображает диалоговое окно с сообщением об ошибке.

6. Отображает главный экран услуги СКМ с данными привязанной карты.

Завершение сценария.

Модуль Interactor должен содержать следующую функциональность:

– загружать номер телефона пользователя из профиля пользователя;

– преобразовывать номер пользователя в канонический вид из полиграфического вида;

– осуществлять запрос на регистрацию карты.

Разработан шаблон класса CardRegistrationInteractorTests, содержащий следующие тестовые методы:

```
class CardRegistrationInteractorTests:
XCTestCase
{ // MARK: Subject under test
var sut: GUCardRegistrationBusinessLogic!
// MARK: Test lifecycle
override func setUp() {
super.setUp()
setupCardRegistrationInteractor()
}
override func tearDown() {
super.tearDown()
}
// MARK: Test setup
func setupCardRegistrationInteractor() {
}
}
```

Класс Card Registration Interactor Tests предназначен для тестирования рабочего класса GU-Card Registration Interactor. Перед вызовом каждого тестового метода будет выполнен метод setUp. После того, как тестовый метод завершит работу, будет вызван метод tearDown. Метод

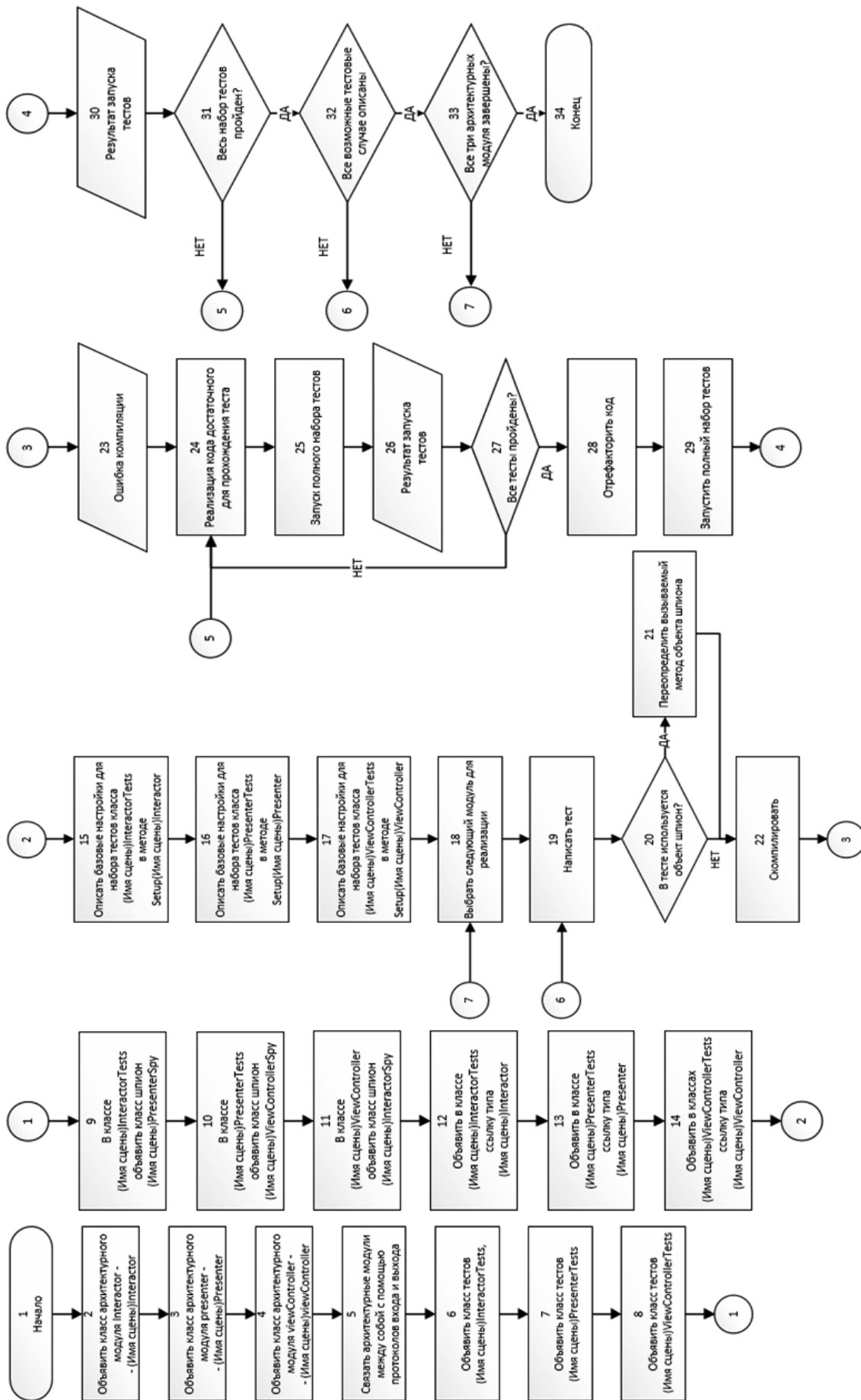


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма методики

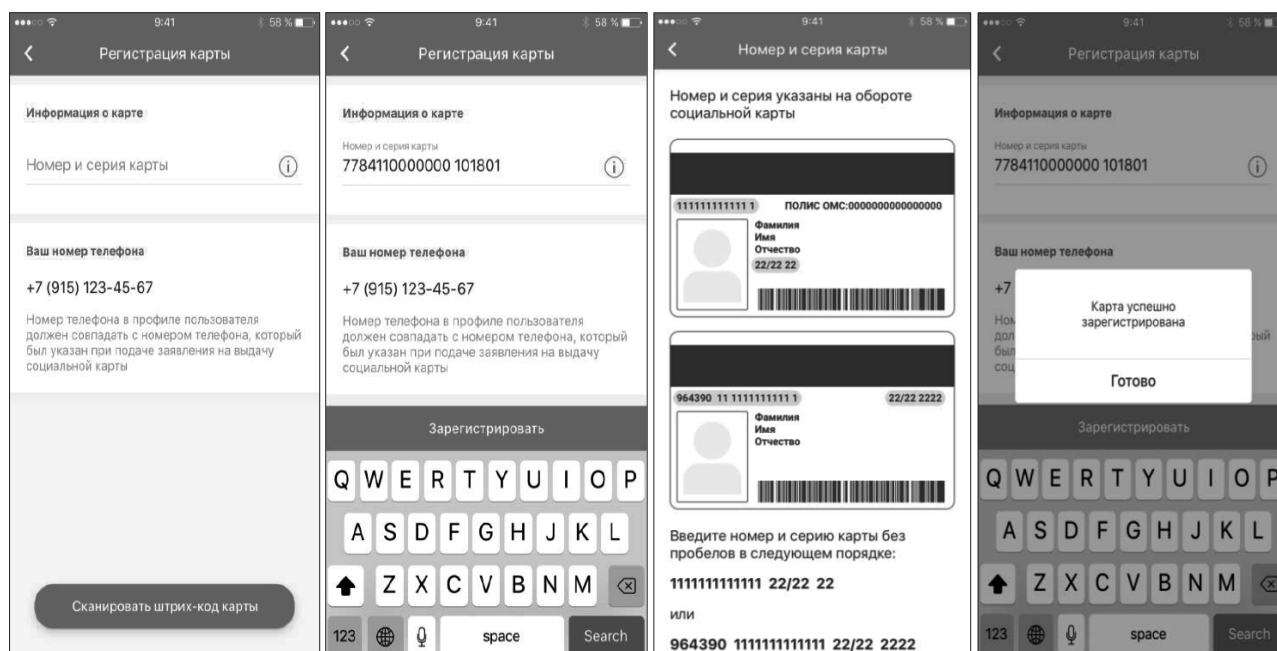


Рисунок 3. Экраны регистрации карты, ввода номера карты, информации о вводе номера СКМ, успешной регистрации

setup Card Registration Interactor () предназначен для инициализации начальных значений. Переменная sut (System under test) – это ссылка на экземпляр тестируемого объекта. Для реализации тестов необходимо симулировать контекст, в котором выполняются тестируемые функции, для этих случаев существует понятие mock-объектов (spy-объект), представляющих собой специально созданные сущности, единственная цель которых – это симуляция контекста, в котором выполняется тестируемая функция.

Моком называется тестовый двойник, способный запоминать аргументы вызовов своих методов, количество вызовов, часто также способный самостоятельно проводить проверки. Как правило, каркасы изоляции позволяют наделять моки дополнительным настраиваемым поведением вплоть до полной имитации работы класса с подменой одного небольшого аспекта [4].

Продемонстрируем использование mock-объектов и объектов-шпионов при тестировании модулей приложения. Далее отображены классы этих объектов.

В классе GU-Card Registration Presentation Logic Spy (используется для мониторинга результата работы тестируемого класса) переопределены базовые методы. Шпион отслеживает, были ли вызваны его методы, анализирует значения переданных параметров:

```
class GUCardRegistrationPresentationLogicSpy:
GUCardRegistrationPresentationLogic {
```

```
var presentCardRegisteredCalled = false
var presentedErrorStringCalled = false
var presentErrorCalled = false
var presentPhoneCalled = false
var displayModule: CommonDisplayLogic?
```

```
func presentCardRegistered() {
    presentCardRegisteredCalled = true
}
```

```
func present(errorString: String, cancelTitle:
String, completion: (() -> Void)?) {
    presentedErrorStringCalled = true
}
```

```
func presentError(error: Error, completion: (()
-> Void)?) {
    presentErrorCalled = true
}
```

```
func present(phone: String) {
    presentPhoneCalled = true
}
```

GUCardRegistrationServiceSpy эмулирует поведение класса GUCardRegistrationMainService:

```
class GUCardRegistrationServiceSpy:
GUMSCService {
```



```

func getBarCode(cardId: String, completion:
@escaping ((GUResult<MSCGetBarCodeModel>
-> Void)) {}
    func getCard(completion: @escaping
((GUResult<GUMoscowSocialCard>) -> Void)) {}
    func verifyCard(order: String, phone:
String, completion: @escaping ((GUResult<GUMscVerifyCardItem>) -> Void)) {}
    func removeCard(withId cardId: String, completion: @escaping ((Error?) -> Void)) {}
    func submitCard(cardSeries: String, cardNumber: String, completion: @escaping ((GUResult<GUMoscowSocialCard>) -> Void)) {
        if (cardNumber == «19110188» || cardSeries == «19110188») {
            completion(.failure(NSError(domain: «as-dasd», code: 213, userInfo: nil)))
        }
        completion(.success(GUMoscowSocialCard()))
    }
}

```

В соответствии с разработанной методикой для базовой настройки тестовых объектов используются методы с префиксом `setup`. Они вызываются перед запуском тестовых методов. Это позволяет не загромождать код самих тестов и избавляет от повторения кода. Разработаны примеры реализации методов инициализации для всех видов архитектурных модулей.

Инициализируем свойства `Interactor` объектами-шпионами:

```

class CardRegistrationInteractorTests:
 XCTestCase {
    // MARK: Subject under test

    var sut: GUCardRegistrationBusinessLogic!
    var presenter: GUCardRegistrationPresentationLogicSpy!
    // MARK: Test lifecycle

    override func setUp() {
        super.setUp()
        setupCardRegistrationInteractor()
    }

    func setupCardRegistrationInteractor() {
        let interactor = GUCardRegistrationInteractor()
        presenter = GUCardRegistrationPresentationLogicSpy()
        interactor.presenter = presenter
    }
}

```

```

interactor.cardService = GUCardRegistrationServiceSpy()
interactor.card = GUMSCCardRegistration(canonical: «9643907703025200065 19110177»)
sut = interactor
}

```

Продемонстрируем реализацию тестовых методов для всех архитектурных модулей. В качестве примера приведем разработанные тесты для модуля `Presenter`:

```

// MARK: Test doubles
func testPhonePresented() {
    var phoneToDisplay = «21231»
    sut.present(phone: phoneToDisplay)
    XCTAssertTrue(viewControllerSpy.phoneDisplayed == phoneToDisplay)
}

func testCardRegisteredPresented() {
    sut.presentCardRegistered()
    XCTAssertTrue(viewControllerSpy.cardRegisteredDisplayed)
}

```

Все `unit`-тесты выполняют непосредственную сверку полученных результатов с ожидаемыми при помощи predefined функций библиотеки тестирования, возвращающих положительный или отрицательный результат. Примером такой функции может служить `XCTAssert` – вариант проверяющей функции, успешно завершающейся, если входной логический параметр действителен.

Заключение

Использование методики модульного тестирования мобильного приложения iOS «Госуслуги Москвы» позволяет уменьшить количество дефектов в приложении, уменьшает стоимость исправления дефектов, способствует написанию более чистого кода и проектированию удобных интерфейсов классов. В процессе разработки было обнаружено, что из-за большого числа файлов в проекте набор тестов запускается недостаточно быстро, что замедляет скорость разработки. В перспективе следует произвести поиск возможных программных и аппаратных способов увеличения скорости сборки проекта и запуска набора тестов.

Литература

1. Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Технологии разработки программного обеспечения. СПб.: Питер, 2012. – 608 с.
2. Бек К. Экстремальное программирование: разработка через тестирование. СПб.: Питер, 2003. – 224 с.
3. Beck K. Extreme Programming Explained: Embrace Change. Boston: Addison Wesley, 2004. – 224 p.
4. Osherove R. The Art of Unit Testing with Examples in .NET. Greenwich: Manning, 2009. – 324 с.
5. Meszaros G. xUnit Test Patterns. Refactoring Test Patterns. Boston: Addison-Wesley, 2007. – 948 с.
6. Симан М. Внедрение зависимостей в .NET. СПб.: Питер, 2013. – 464 с.
7. Фаулер М. Шаблоны корпоративных приложений. М.: Вильямс, 2011. – 544 с.
8. Фаулер М. Рефакторинг. Улучшение существующего кода. СПб.: Символ-плюс, 2010. – 432 с.
9. Astels D. Test Driven Development: A Practical Guide, Upper Saddle River. NJ: Prentice Hall PTR, 2003. – 592 p.
10. Schmitt W. Automated Unit Testing of Embedded ARM Applications // Information Quarterly. – 2014. – Vol. 3. – No. – P. 29.

Получено 17.09.2018

Богомолова Мария Анатольевна, к.т.н., доцент, декан Факультета информационных систем и технологий Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 339-11-96. E-mail: bogomolova-ma@psuti.ru

Клементьев Сергей Александрович, магистрант Кафедры прикладной информатики ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-36. E-mail: klementyevsa@yandex.ru

TEST-DRIVEN DEVELOPMENT METHODOLOGY OF ARCHITECTURAL COMPONENTS FOR IOS MOBILE APP «THE MOSCOW SERVICES»

Bogomolova M.A., Klementyev S.A.

*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation
E-mail: bogomolova-ma@psuti.ru*

The proposed methodology is focused on the iOS mobile app “State services of Moscow” architecture and can be used for the scenes app development. Using this methodology, the three architectural components (View Controller, Interactor and Presenter) for the scene of citizen’s social card registration were developed step by step: scenes in the form of classes, and also unit-tests for these classes were implemented. The written code shows the development features and can be used as an example for creating new scenes. Using the unit-testing methodology of the iOS mobile app “The Moscow Services” allows to minimize the number of defects in the app, reducing the correction defects cost, and also to contribute for cleaner code writing and user-friendly class interfaces development.

Keywords: *unit-testing, test-driven development, TDD, Clean Swift, mock-object, spy-object*

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.11

Bogomolova Mariya Anatolevna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23 L. Tolstoy str., Samara, 443010, Russian Federation; Dean of the Faculty of Information Systems and Technologies, PhD in Technical Sciences, Associated Professor. Tel. +78463391196. E-mail: bogomolova-ma@psuti.ru

Клементьев Сергей Александрович, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23 L. Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; master’s student of the Department of Applied Informatics. Tel. +78462280036. E-mail: klementyevsa@yandex.ru

References

1. Orlov S.A., Tsilker B.Y. *Tehnologii razrabotki programmnogo obespechenija* [Software development technologies]. St. Petersburg, Piter Publ., 2012. 608 p.
2. Beck K. *Ehkstremal’noe programmirovaniye: razrabotka cherez testirovaniye* [Test-driven development by example]. St. Petersburg, Piter Publ., 2003. 224 p.

3. Beck K. *Extreme Programming Explained: Embrace Change*. 2nd ed. Addison Wesley, Boston, 2004. 224 p.
4. Osherove R. *The Art of Unit Testing with Examples in .NET*. Manning, Greenwich, 2009. 324 p.
5. Meszaros G. *xUnit Test Patterns. Refactoring Test Patterns*. Addison-Wesley, Boston, 2007. 948 p.
6. Siman M. *Vnedrenie zavisimostej v .NET* [Deployment of dependencies in .NET]. St. Petersburg, Piter Publ., 2013. 464 p.
7. Fowler M. *Shablony korporativnyh prilozhenij* [Patterns of Enterprise Application Architecture]. Williams, Moscow, 2011. 544 p.
8. Fowler M. Refactoring. *Uluchshenie sushchestvuyushchego koda* [Refactoring: Improving the Design of Existing Code]. Symbol plus, St. Petersburg, 2010. 432 p.
9. Astels D. *Test Driven Development: A Practical Guide, Upper Saddle River*. Prentice Hall PTR, New York, 2003. 592 p.
10. Schmitt W., Automated Unit Testing of Embedded ARM Applications, *Information Quarterly*. 2004, vol. 3, no. 4, p. 29.

Received 17.09.2018

ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 621.396

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СЛЕПОЙ КОРРЕКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В АППАРАТНО-ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «ОРЛАН»

Горячкин О.В.¹, Гусев Н.А.²

¹ Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

² Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева, Самара, РФ

E-mail: nikolay.gusev@spacekennel.ru

В статье проводится анализ возможности применения работы алгоритма слепого восстановления изображений, основанного на вариационном байесовском подходе в программно-аппаратном комплексе идентификации автомобилей «Орлан». Приводятся количественные характеристики эффективности применения алгоритмов распознавания автомобильных номеров на искаженных снимках. Также приводятся результаты эффективности работы алгоритма при различных степенях искажения исходного изображения. Дается оценка эффективности работы в сравнении с результатами работы алгоритма слепого восстановления открытого программного обеспечения «SmartDeblur». Проведен экспериментальный анализ качества идентификации автомобильных номеров по искаженным изображениям. Проведено сравнение с известными алгоритмами восстановления. Алгоритм на основе байесовского подхода позволил повысить количество верно распознанных номеров при реализации его в аппаратно-программном комплексе «Орлан», другие рассмотренные алгоритмы не позволили повысить качество распознавания на близком к уровню рассматриваемого алгоритма.

Ключевые слова: вариационный байесовский подход, деконволюция изображений, аппаратно-программный комплекс «ОРЛАН», идентификация номерных знаков

Введение

Проблемы машинного зрения в настоящее время представляют интерес практически для каждой крупной IT-компании. Яндекс и Uber занимается разработкой автономного такси, Tesla и Google активно работают над автопилотами для автомобилей. Все эти разработки основаны на системах с оптическими или инфракрасными цифровыми камерами. Развитие технических систем обработки информации позволяет решать прикладные задачи, связанные с цифровой обработкой изображений. Под техническими система-

ми измерений и обработки информации в данной статье подразумеваются системы, включающие устройства распознавания объектов на оптических изображениях.

В системах обработки информации изображение обычно регистрируется матрицей сенсоров на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС-матрицы). При этом выполняются оцифровка, дискретизация и квантование изображения. Наиболее часто используются полутонные (серые) изображения с градацией яркости, особенно в аппаратно-программных комплексах машинного зрения (промышленные роботы, автоматические

камеры фиксации нарушений), а также в аэрокосмической съемке, цифровых телескопах, микроскопах и т.д.

Под изображениями будем понимать цифровые полутоновые изображения с градацией серого цвета. В качестве объектов могут выступать фотоснимки человека, текста, движущихся целей (самолет, автомобиль), объекта природы (в том числе сделанные из космоса), теле- и киноизображение и т.д.

Что касается комплексов фиксации нарушений правил дорожного движения, то в настоящее время одной из ключевых задач при их разработке является повышение точности распознавания автомобильных номеров. Так, например, в аппаратно-программном комплексе (АПК) «Орлан», на программно-аппаратной базе которого нами проводились эксперименты, одной из причин возникновения проблем в распознавании является отсутствие автофокуса, при котором объекты (в данном случае автомобили), находящиеся вне области фокуса, подвержены искажению.



Рисунок 1. Внешний вид аппаратно-программного комплекса «ОРЛАН»

На практике эта проблема часто решается путем подбора камеры с улучшенными характеристиками автофокусировки, что обычно влечет за собой увеличение стоимости конечного решения. Другой вариант – использование программных средств улучшения изображений. Одним из эффективных способов компенсации смазов и (или) расфокусировок оптических изображений является так называемое слепое восстановление изображений [1].

В настоящее время создано большое многообразие алгоритмов слепой коррекции изображений (в литературе часто встречается термин «слепая деконволюция») [2], обладающих разными характеристиками и, соответственно, разными возможностями для приложений. В работе анализируются возможность и особенности применения алгоритма слепой коррекции изображений, описанного в [3]. В этой работе рассматривается применение вариационного байесовского подхо-

да и гамма-распределений при оценке неизвестных параметров для предотвращения сходимости к нежелательным оценкам изображения и параметров размытия в процессе работы алгоритма восстановления. В настоящей статье проанализирована эффективность алгоритма детектирования автомобильных номеров АПК «Орлан» в условиях применения алгоритмов слепой коррекции.

Математическая модель изображения

Слепая деконволюция относится к классу задач следующего вида [3-4]:

$$g(x) = h(x) * f(x) + n(x), x = (x_1, x_2) \in I, \quad (1)$$

где $I \subset R^2$ принадлежит изображению; $f(x)$; $g(x)$; $h(x)$; $n(x)$ – представляют собой, соответственно, оригинальное изображение, наблюдаемое изображение, некоторую функцию искажения (функцию распределения точки), представленную размытием и видимым шумом.

Это выражение можно записать в векторной форме

$$g = Hf + n, \quad (2)$$

где H – матрица Теплица, полученная из функции искажения. При классическом восстановлении изображения предполагается, что функция размытия известна, и процесс искажения компенсируется с использованием одного из многих существующих алгоритмов восстановления изображений. В рассматриваемом алгоритме функция размытия неизвестна, но ее оценка включена в процедуру восстановления.

Когда оценка функции размытия выполняется совместно с процессом восстановления, большинство алгоритмов решают задачу слепой деконволюции путем включения априорных статистических данных в процесс восстановления. В рамках задач, рассмотренных в [3], применяется байесовская парадигма для совместной оценки изображений, размытия и неизвестных гиперпараметров в задаче слепого восстановления.

Байесовский подход к задаче слепой деконволюции

Целью метода слепой деконволюции является получение оценок h и f на основе наблюдаемого изображения g . Основная задача, которую необходимо решить при разработке алгоритма восстановления, заключается в нахождении совместного распределения $p(\Omega, f, h, g)$, где $\Omega = (a_{im}, a_{bl}, \beta)$ – вектор неизвестных параметров распределений шума, изображения и функции размытия.

Для Ω , f , h и g можно определить условное совместное распределение в виде

$$p(\Omega, f, h|g) = \frac{p(\Omega)p(f|\Omega)p(h|\Omega)p(g|f,h,\Omega)}{p(g)}. \quad (3)$$

Большинство оптических изображений можно описать априорным распределением вида [4]

$$p(f|\Omega) = a_{im}^{\frac{N}{2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} a_{im} \|Cf\|^2 \right\}, \quad (4)$$

где C – оператор Лапласа, $N = P \times Q$ – размер вектора столбца, обозначающего лексикографически упорядоченные по строкам пиксели изображения; a_{im}^{-1} – параметр распределения (4). Аналогично можно записать функцию распределения пикселей изображения точечного источника

$$p(h|\Omega) = a_{bl}^{M/2} \exp \left\{ -\frac{1}{2} a_{bl} \|Ch\|^2 \right\}. \quad (5)$$

Предположим, что шум является гауссовским с нулевым средним, дисперсией равной β^{-1} . Тогда плотность вероятностей наблюдаемого изображения можно выразить следующим образом:

$$p(g|f, h, \Omega) = \beta^{\frac{N}{2}} \exp \left[-\frac{1}{2} \beta \|g - Hf\|^2 \right]. \quad (6)$$

Оценка параметров Ω производится алгоритмом максимума апостериорной вероятности (МАВ) в виде

$$\begin{aligned} \hat{\Omega} &= \arg \max_{\Omega} p(\Omega|g) = \\ &= \int_f \int_h p(\Omega, f, h|g) df dh. \end{aligned} \quad (7)$$

Соответственно МАВ оценку истинного изображения и функции искажения можно получить в виде

$$\begin{aligned} \hat{f}, \hat{h} &= \arg \max_{f,h} p(f, h|\hat{\Omega}, g) = \\ &= \arg \max_{f,h} p(f|\hat{\Omega})p(h|\hat{\Omega})p(g|f, h, \hat{\Omega}). \end{aligned} \quad (8)$$

В рамках вариационного байесовского подхода оценку неизвестных параметров проводят следующим образом (см. подробнее [3; 5]). Обозначим через θ все неизвестные нам параметры:

$$\theta = (\Omega, f, h) = (a_{im}, a_{bl}, \beta, f, h). \quad (9)$$

Для $\theta \in \{a_{im}, a_{bl}, \beta, f, h\}$ обозначим как θ_{θ} подмножество параметров θ за исключением параметра θ . Например, если $\theta = f$, то $\theta_f = (a_{im}, a_{bl}, \beta, h)$. Тогда расстояние Кульбака-Лейблера между аппроксимирующим распределением с независимыми компонентами и рас-

пределением параметров, полученных на основе наблюдаемого изображения g , будет иметь следующий вид

$$\begin{aligned} D_{KL}(q(\theta)||p(\theta|g)) &= \\ &= D_{KL}(q(\theta)q(\theta_{\theta})||p(\theta|g)). \end{aligned} \quad (10)$$

Оценка неизвестного параметра будет иметь распределение, при котором расхождение минимально:

$$\hat{q}(\theta) = \arg \max_{q(\theta)} C_{KL}(q(\theta)q(\theta_{\theta})||p(\theta|g)). \quad (11)$$

Таким образом в рамках данного подхода задача слепой деконволюции изображения сводится к итерационному поиску $q(\theta)$, если $\theta = f$ и находению оценки в виде

$$\hat{f} = \int q(f) df. \quad (12)$$

Распределение гиперпараметров распределений может быть выбрано различным способом, в рассматриваемом алгоритме $p(\Omega)$ – гамма распределение.

Особенности анализа изображений в АПК «ОРЛАН»

Анализ изображения в комплексе фиксации нарушений правил дорожного движения производится в три этапа: детектирование прецедента, детектирование и локализация регистрационного номера транспортного средства, распознавание номерного знака. Пример изображения, полученного при помощи АПК «ОРЛАН», представлен на рисунке 2.

Первоначальной целью исследования являлось повышение точности распознавания среди детектируемых номерных знаков. Однако, как выяснилось, уязвимым местом в работе АПК «ОРЛАН» является именно детектирование номера, а не точность его распознавания.

В основе алгоритма детектирования автомобильного номера лежит довольно распространённый метод анализа изображения с применением оператора Собеля [4]. Оператор Собеля – это дискретный дифференциальный оператор, вычисляющий приближенное значение градиента яркости изображения. Очевидно, что при искажении типа «размытие» или «смаз» картина градиента яркостей становится слабо-выраженной, что затрудняет решение задач машинного зрения. При расфокусированном изображении программная часть АПК «ОРЛАН» не сможет обнаружить номерные знаки и вынесет решение, что автомобиля на фотографии нет,

так как отличительный признак транспортного средства отсутствует.



Рисунок 2. Изображение, полученное при помощи АПК «ОРЛАН»

Если локализация номерного знака прошла успешно, то изображение с большой вероятностью обладает достаточным качеством и распознавание будет выполнено с необходимой высокой точностью. Другими словами, в таком случае распознавание успешно осуществляется без использования слепой деконволюции.

Тестирование алгоритма слепой деконволюции

При подготовке материала для тестирования алгоритма была использована фотография, изображенная на рисунке 3. Для получения изображения использовался фотоаппарат модели Cannon EOS 1300D.



Рисунок 3. Исходное изображение

Чтобы оценить эффективность работы алгоритма в зависимости от степени искажения, при помощи пакета программ Matlab была получена серия снимков с заведомо известной функцией искажения. При решении задач обработки изо-

бражений применяется функция фильтрации *imfilter* в паре с функцией *fspecial*, которая позволяет задавать различные типы масок фильтра. В данном случае в качестве функции искажения использовался фильтр Гаусса размером 50×50 пикселей с переменным стандартным отклонением: *fspecial* («*gaussian*», 50, x), где x – стандартное отклонение. Стандартное отклонение x изменялось в диапазоне от 0,1 до 3,0 с шагом 0,1. В результате получается 30 изображений с разной степенью размытия по Гауссу. Изображения со степенью размытия 0,4; 1,2; 2,0 и 2,8 представлены на рисунке 4.



Рисунок 4. Синтетически деградированные изображения с разной степенью размытия

При восстановлении деградированного изображения необходимо произвести операцию обратной свертки и при этом учитывать уровень шума.



Рисунок 5. Изображения со стандартными отклонениями 1,0; 1,5 и 2,0

Рассматривая модель изображения (1), можно прийти к выводу, что для нахождения оригинального изображения $f(x)$ необходимо поделить левую и правую часть выражения (1) на $h(x)$. Однако в таком случае достаточно шума даже с низким уровнем (который всегда присутствует на изобра-

жении), чтобы слабое $n(x)/h(x)$ стало доминировать. Это приводит к тому, что восстановленное изображение почти полностью зашумлено. Таким образом, устойчивость алгоритма слепой деконволюции к аддитивному шуму на изображении является важным критерием оценки.

Для тестирования алгоритма на устойчивость к аддитивному шуму получена серия синтетически деградированных изображений с применением функции пакета Matlab. В качестве исходного изображения были взяты три изображения со стандартными отклонениями 1,0; 1,5 и 2,0 (см. рисунок 5).

На изображения был наложен шум при помощи функции `imnoise(I, «gaussian», m, var)`, где I – исходное изображение, «gaussian» – тип фильтра, m – среднее значение шума (в рамках эксперимента выбрано равным нулю), var – вариация.



Рисунок 6. Синтетически деградированные изображения с шумом

Вариация выбрана в диапазоне от 0 до 0,039 для с шагом 0,001. В результате получено 40 изображений для каждого стандартного отклонения, то есть всего 120 изображений.

Примеры изображений с вариацией шума 0,02 (стандартное отклонение равно 2,0) представлены на рисунке 7, где отображены полученные данные в виде трехмерной диаграммы. Из рисунка 7 видно, наилучшие результаты при распознавании достигаются при искажении размытием с уровнем вариации не более чем 1,5. При этом следует отметить, что если вариация размытия превышает 1,5, то наилучший результат достигается при нормализованных доверительных коэффициентов на уровне 0,7-0,8.

Для сравнения работы алгоритма со сторонней реализацией были проделаны аналогичные эксперименты с фотографиями, полученными при обработке встроенными в Matlab функциями

восстановления изображения. Однако результат восстановления был недостаточным для локализации номерных знаков на фотографии.

Кроме того, серия тестов была проведена на ПО с закрытым исходным кодом SmartDeblur. Результаты, полученные программой SmartDeblur, представлены на рисунке 8 черной линией.

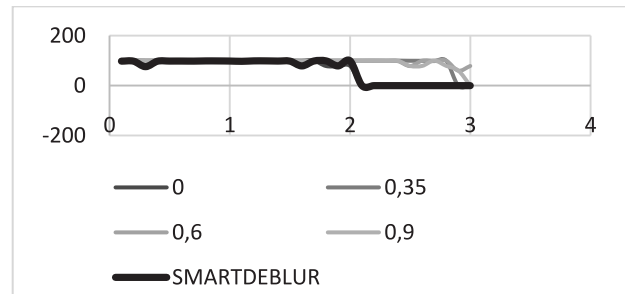


Рисунок 8. Результаты распознавания изображений с обработкой SmartDeblur и рассматриваемым алгоритмом

Как видно из данного графика, схожие результаты дает рассматриваемый нами алгоритм при уровне доверительных параметров равных нулю. При таком значении доверительных параметров коррекция гиперпараметров в процессе работы алгоритма не производится. Другими словами, апостериорные данные в процессе восстановления не используются.

Как видно по результатам тестов, представленным в таблице 1, при значительном уровне искажения изображения (с вариацией размытия от 2,0 и выше) даже незначительный шум становится затруднительным для работы алгоритма восстановления.

По этим данным можно сделать вывод, что эффективность использования алгоритма при обработке изображений с шумом существенно снижается в задачах машинного зрения.

Таблица 2. Сравнение алгоритмов восстановления изображений

Шум (SNR)	Метод	Число итераций
40 dB	Метод линий	77
	Градиентный спуск	150
	Слепая деконволюция	15
	Слепое восстановление	96
20 dB	Метод линий	68
	Градиентный спуск	1500
	Слепая деконволюция	18
	Слепое восстановление	25

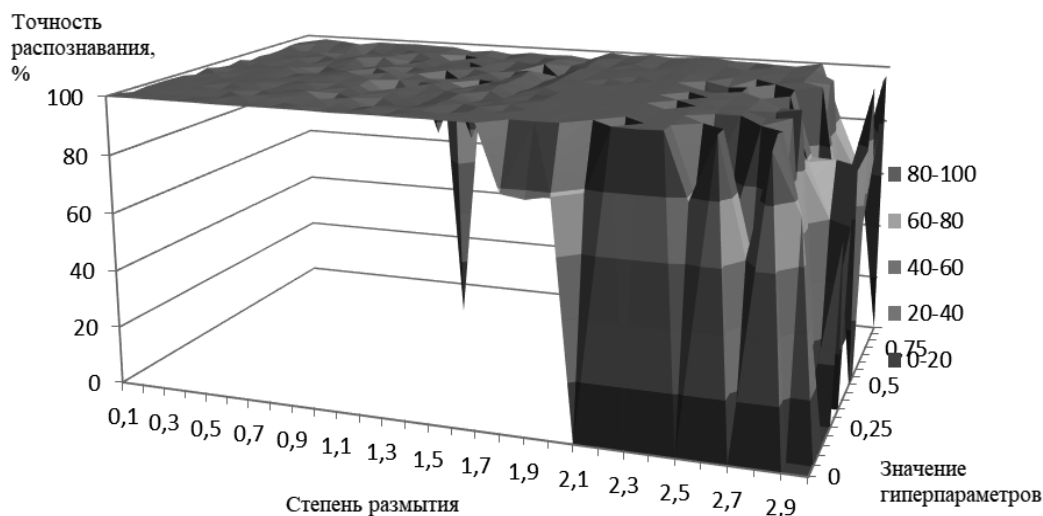


Рисунок 7. Результаты анализа восстановленных изображений

В таблице 2 приведены результаты анализа производительности алгоритма слепой деконволюции в сравнении с аналогичными методами решения задач коррекции линейных искажений изображений. Как можно заметить, алгоритм слепой деконволюции дает лучшие показатели в сравнении с алгоритмом слепого восстановления. Методы линий и градиентных спусков, являются более затратными по вычислительным ресурсам по сравнению с методом слепой деконволюции.

Заключение

По итогам работы можно сделать следующие выводы. Алгоритм [3] был реализован в программном коде среды Matlab, его экспериментальная оценка позволила определить оптимальные параметры слепого восстановления для применения в системах машинного зрения.

Анализ аналогичных решений в области коррекции искажений применительно к задачам машинного зрения выявил недостатки применения алгоритма, заложенного в программный пакет «SmartDeblur». Слепая деконволюция улучшает анализ изображений в системах машинного зрения при наличии искажений типа «смаз» или «расфокусировка», однако при наличии существенных шумов эффект от его применения снижается.

Данный алгоритм визуально улучшает качество изображений, что делает его применение возможным в решениях съемки с летательных аппаратов при возникновении искажения типа «смаз». Алгоритм на основе

вариационного байесовского метода обладает высокой производительностью, что делает его привлекательным для применения во встраиваемых системах.

Литература

1. Горячкин О.В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи. – М: Радио и связь, 2003. – 230 с.
2. Campisi, P., Egiuzarian, K.: Blind Image Deconvolution: Theory and Applications. – CRC, 2007.– 49 p.
3. Molina R., Mateos J., Katsaggelos A.K. Blind deconvolution using a variational approach to parameter, image, and blur estimation // IEEE Transactions on Image Processing. – 2006. – Vol. 15. – №12. – P. 3715-3727. DOI: 10.1109/TIP.2006.881972.
4. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006.– 616 с.
5. Likas A.C., Galatsanos N.P. A Variational Approach for Bayesian Blind Image Deconvolution // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2004. – Vol. 52. – №8. – P. 2222-2233. DOI: 10.1109/TSP.2004.831119.
6. Николенко С. И., Кадурин А. А., Архангельская Е. О. Глубокое обучение. – ИД «Питер», 2017. – 480 с.
7. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М: Радио и связь, 1989. – 656 с.
8. Васильев В.Н., Гуров И.П., Потапов А.С. Математические методы и алгоритмическое

обеспечение анализа и распознавания изображений в информационно-телекоммуникационных системах // URL: http://www.scinnov.ru/articles/itcs/contest_its. – 2008. – (д.о. 28.05.2017).

9. Variational Bayesian Sparse Kernel-Based Blind Image Deconvolution With Student's-t Priors

// – IEEE Transactions on Image Processing, 2009. – P. 753-764.

10. Программа «SmartDeblur» // URL: <http://www.smartdeblur.net>. – Сайт компании «SmartDeblur» (д.о. 28.05.2017).

Получено 27.11.2018

Таблица 1. Результаты точности распознавания изображений с номерным знаками при разном уровне шума

Вариация размытия								
2,0			1,5			1,0		
Вариация шума	Исходное изображение	Восстановленное изображение	Вариация шума	Исходное изображение	Восстановленное изображение	Вариация шума	Исходное изображение	Восстановленное изображение
0	78,78	99,78	0	99,95	99,53	0	99,95	97,84
0,001	0	99,98	0,001	99,96	99,1	0,001	99,98	98,22
0,002	0	99,88	0,002	99,79	99,76	0,002	99,76	98,85
0,003	0	77,88	0,003	99,94	99,95	0,003	99,95	98,97
0,004	0	99,41	0,004	78,52	99,87	0,004	99	99,99
0,005	0	60,44	0,005	99,57	99,9	0,005	98,48	99,94
0,006	0	78,57	0,006	97,25	99,87	0,006	99,24	99,75
0,007	0	0	0,007	74,74	99,87	0,007	99,39	99,86
0,008	0	0	0,008	0	99,59	0,008	99,44	99,94
0,009	0	96,44	0,009	99,32	60,44	0,009	98,5	99,92
0,01	0	0	0,01	0	58,99	0,01	77,73	99,85
0,011	0	0	0,011	0	77,89	0,011	74,64	99,87
0,012	0	0	0,012	95,46	0	0,012	97,89	99,71
0,013	0	0	0,013	0	99,22	0,013	76,17	99,81
0,014	0	0	0,014	73,87	78,94	0,014	59,33	99,95
0,015	0	0	0,015	0	99,17	0,015	97,7	99,42
0,016	0	0	0,016	0	78,86	0,016	0	98,42
0,017	0	0	0,017	0	78,3	0,017	98,76	97,7
0,018	0	0	0,018	0	99,19	0,018	95,88	99,81

Горячкин Олег Валериевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой теоретических основ радиотехники и связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. (8-846) 228-00-72. E-mail: goryachkin-ov@psuti.ru

Гусев Николай Александрович, аспирант Кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. Тел. (8-846) 267-45-39. E-mail: nikolay.gusev@spacekennel.ru

APPLICATION OF BLIND IMAGE CORRECTION METHODS TO ORLAN HARDWARE AND SOFTWARE SOLUTION

Goryachkin O.V.¹, Gusev N.A.²

¹Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

²Samara National Research University, Samara, Russian Federation

E-mail: nikolay.gusev@spacekennel.ru

This article provides an analysis of the algorithm for blind deconvolution of distorted images to determine the possibility of its application to computer vision systems. The original and blurred license plate images were analyzed by a computer recognition system used in Orlan complex. By studying the results, optimal parameters for image reconstruction were found. These parameters allow to obtain the maximum accuracy of license plate recognition. Compared to the other recovery algorithms, the method under consideration shows better results. Computational complexity of the considered algorithm allows it to be used in real time computing. The article also presents data on the comparative performance analysis of various image correction algorithms. The experiments show that the proposed algorithm can be used in embedded systems in order to improve the accuracy of subsequent analysis and classification of images.

Keywords: Bayes variational approach, image deconvolution, ORLAN hardware and software solution, license plate identification

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.12

Goryachkin Oleg Valerievich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Head of the Department of Theoretical Foundations of Radio Engineering and Communication, Doctor of Technical Science, Professor. Tel. +78462280072. E-mail: goryachkin-ov@psuti.ru

Gusev Nikolay Aleksandrovich, Samara National Research University, 34 Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russian Federation; Ph.D Student of the Department of Design and Technology of Electronic Systems and Devices. Tel. +78462674539. E-mail: nikolay.gusev@spacekennel.ru

References

1. Goryachkin O.V. *Metody slepoy obrabotki signalov i ikh prilozheniya v sistemakh radiotekhniki i svyazi* [Blind signal processing methods and their applications in radio engineering and communication systems]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 2003, 230 p.
2. Campisi, P., Egiuzarian, K. *Blind Image Deconvolution: Theory and Applications*. CRC, 2007. 49 p.
3. Molina R., Mateos J., Katsaggelos A. K. Blind deconvolution using a variational approach to parameter, image, and blur estimation. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, vol. 15, no. 12, pp. 3715-3727. DOI: 10.1109/TIP.2006.881972.
4. Gonsales R., Vuds R., Eddins S. *Obrabotka izobrazheniy v srede MATLAB* [Image processing in MATLAB]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2006. 616 p.
5. Likas A.C., Galatsanos N.P. A variational approach for Bayesian blind image deconvolution. *IEEE transactions on signal processing*, 2004, vol. 52, no. 8, pp. 2222-2233. DOI: 10.1109/TSP.2004.831119.
6. Nikolenko S.I., Kadurin A.A., Arkhangelskaya E.O. *Glubokoye obucheniye* [Deep learning]. St. Petersburg, Piter Publ., 2017. 481 p.
7. Levin B.R. *Teoreticheskie osnovy statisticheskoy radiotekhniki* [Theoretical foundations of statistical radio engineering]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1989. 656p.
8. Vasil'ev V.N., Gurov I.P., Potapov A.S. *Matematicheskie metody i algoritmicheskoe obespechenie analiza i raspoznavaniya izobrazhenij v informacionno-telekommunikacionnyh sistemah* [Mathematical methods and algorithmic support of image analysis and recognition in information and telecommunication systems] Available at: http://www.sci-innov.ru/articles/itcs/contest_its (accessed 23.06.2018)
9. Variational Bayesian Sparse Kernel-Based Blind Image Deconvolution with Student's-t Priors. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2009.
10. Software «SmartDeblur». Available at: <http://www.smartdeblur.net>. (accessed: 28.05.2017).

Received 27.11.2018

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СШП ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Абдрахманова Г.И.¹, Мешков И.К.¹, Князев Н.С.², Султанов А.Х.¹

¹Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, РФ

²Уральский федеральный университет, Екатеринбург, РФ

E-mail: guzel.idrisovna@gmail.com

В статье приводятся результаты лабораторных исследований экспериментального образца фрактального миниатюрного антенного излучателя, разработанного для регламентированного Государственной комиссией по радиочастотам сверхширокополосного диапазона частот. Антенна выполнена по технологии изготовления печатных плат на основе микрополосковой линии и соответствует 5 классу точности. Для изготовления антенны был использован коммерчески доступный материал Rogers RO4350В на основе терморезистивного полимера с добавлением керамики. Геометрия излучающего элемента характеризуется простотой и основана на двух видоизмененных кругах, итоговые размеры антенны с учетом разъема составляют 19×39 мм². Диапазон рабочих частот излучателя 3,13...15 ГГц. Антенна характеризуется достаточным согласованием в указанной полосе и обеспечивает простоту и снижение затрат при серийном производстве, она может найти применение в существующих (Wi-Fi, 3G, 4G) и в создаваемых (радио-по-оптоволокну, 5G) сетях.

Ключевые слова: сверхширокополосная связь; микрополосковые антенны; коэффициент отражения; безэховая камера; экспериментальные исследования

Введение

Одним из основных направлений развития современных телекоммуникационных систем и сетей является стремление обеспечить конечного пользователя качественными и новыми услугами связи. При этом параллельно разработчики стремятся решить следующие задачи:

- снижение стоимости услуг связи и оборудования, энергопотребления и производственных затрат;
- обеспечение доступа к качественным услугам связи большей массе населения для повышения качества жизни;
- уменьшение отрицательного воздействия на окружающую среду и живых существ;
- повышение конкурентоспособности отечественных производителей;
- защита персональных данных при проведении финансовых операций.

Представленный в работе образец фрактального миниатюрного антенного излучателя (ФМАИ) предназначен для излучения и приема сигналов в составе фазированной антенной решетки (ФАР), используемой в качестве элемента антенно-фидерного тракта экспериментального стенда «Радио по оптоволокну». Данный ЭС является прототипом системы СШП – RoF и пилотным образцом подобной системы на территории РФ, разработанной в рамках соглашения о предоставлении субсидии №14.574.21.0058.

Проведенный анализ научно-информационных источников в области разработки сверхширокополосных (СШП) приемо-передающих

антенн [1-9] позволяет сделать вывод о том, что современные антенны выполнены по микрополосковой технологии и имеют целью расширение диапазона рабочих частот при обеспечении достаточного согласования и малых размеров за счет применения новых структур и геометрий излучающих элементов. Разработанные образцы ФМАИ соответствуют последним разработкам в области проектирования СШП-антенн, они характеризуются широким диапазоном рабочих частот (3,13...15 ГГц), простотой при серийном производстве (размеры ФМАИ составляют 19×39 мм²) и совместимостью с интегральными схемами. Это в свою очередь создает возможность удешевления и миниатюризации оборудования базовых и мобильных станций в случае применения ФМАИ в составе пикосотовых беспроводных сетей ШПД.

Помимо указанного стенда ФМАИ могут найти применение в составе существующих систем связи (Wi-Fi, 3G, 4G), а также в новых разрабатываемых, в том числе СШП-RoF и сетях 5G.

Целью данной работы является проведение экспериментальных исследований образцов ФМАИ для подтверждения расчетных характеристик, а именно потерь на отражение S11, коэффициента передачи S21, КСВН, входного сопротивления и диаграммы направленности (ДН).

Описание ФМАИ

ФМАИ предназначен для приема и передачи радиосигналов в диапазоне рабочих частот от 3,13 до 15 ГГц. Данный диапазон определен для

частот, на которых значение КСВН ≤ 2 . Предварительные расчеты и подробное описание имитационного моделирования ФМАИ с использованием программного обеспечения (ПО) CST Microwave Studio (MWS) представлено в [10].

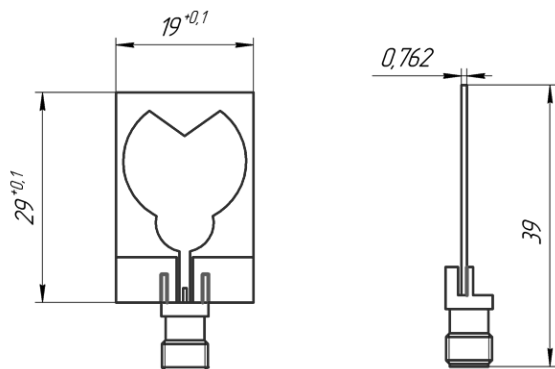


Рисунок 1. Габаритные размеры ФМАИ

Внешний вид изделия с указанием размеров показан на рисунке 1: ФМАИ представляет собой широкополосную антенну, изготовленную на армированном материале Rogers RO4350B на основе терморезистивного полимера с добавлением керамики. Используемый материал Rogers RO4350B технологически прост в обработке и имеет прочную подложку, усиленную стекловолокном. Характеристики материала: толщина подложки: 0,762 мм; толщина фольги: 35 мкм; диэлектрическая проницаемость материала: $3,48 \pm 0,05$; тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 10 ГГц: 0,0037.

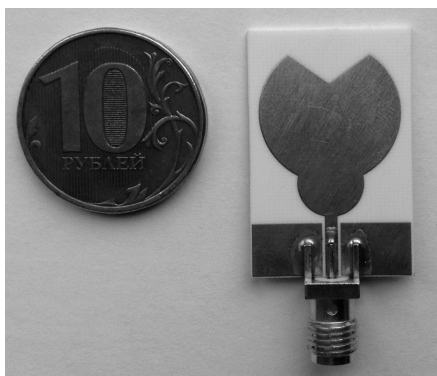


Рисунок 2. Внешний вид ФМАИ

Подключение ФМАИ осуществляется SMA-разъемом, тип SMA 72970 Romona (female), установленным на плату антенны методом пайки (см. рисунок 2).

Результаты моделирования ФМАИ

Как было сказано, моделирование ФМАИ осуществлялось с использованием ПО CST MWS. В процессе расчетов были получены и проанализиро-

ваны такие характеристики излучателя, как: потери на отражение S_{11} , КСВН, входное сопротивление, ДН; построено распределение поверхностных токов, оценены передаточная функция S_{21} и фактор подобия на основе системы двух антенн.

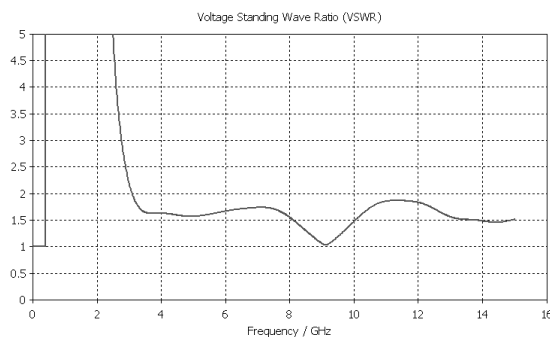


Рисунок 3. КСВН ФМАИ

Указанные характеристики представлены и подробно описаны в [11], кратко отметим следующее:

- КСВН лежит в пределах от 1,1 до 2 в диапазоне 3,13...15 ГГц (см. рисунок 3);
- поверхностные токи распределены симметрично относительно вертикальной оси, большей частью они сконцентрированы в центральном проводнике, по краю плоскости земли (ПЗ) и по краям излучающего элемента (ИЭ), убывая от копланарного волноводного порта (точки питания) по направлению к вершине на всех частотах;

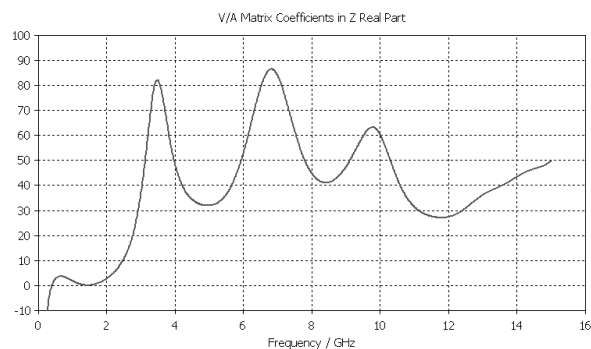


Рисунок 4. Частотная зависимость действительной части входного сопротивления

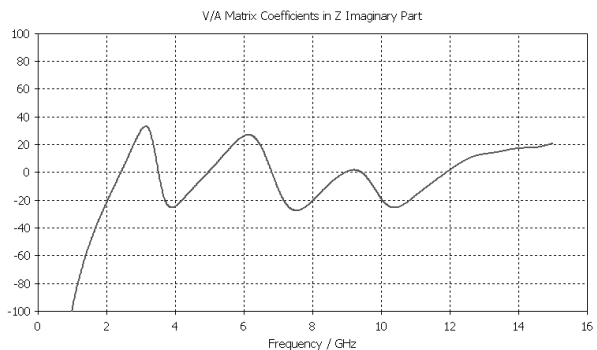


Рисунок 5. Частотная зависимость мнимой части входного сопротивления

– действительная часть входного сопротивления колеблется относительно уровня 50 Ом (см. рисунок 4), мнимая – относительно нулевого уровня (см. рисунок 5);

– на частоте 3,13 ГГц ДН ФМАИ подобна ДН симметричного диполя и имеет вид окружности в горизонтальной плоскости, в вертикальной плоскости – представляет собой две соприкасающиеся окружности;

– с ростом частоты происходит искажение ДН в виде отклонения от тороидальной формы ввиду того, что длина участков со встречным направлением токов увеличивается и интенсивность излучения в горизонтальной плоскости уменьшается.

Указанные характеристики были подтверждены результатами двух разных расчетов, после чего было изготовлено и протестировано 20 образцов ФМАИ.

Результаты экспериментального исследования ФМАИ

Экспериментальные исследования ФМАИ были проведены в безэховой камере (БЭК) Центра коллективного пользования Уральского Федерального университета (г. Екатеринбург). Поскольку все образцы ФМАИ демонстрируют практически идентичные характеристики, здесь представлены результаты измерений для образца №1 (ФМАИ-1) и даны комментарии по остальным 19 образцам.

На рисунке 6 представлены результаты измерений S_{11} , на рисунке 7 – коэффициента передачи, на рисунке 8 – КСВН. Из рисунка 6 видно, что значения S_{11} составляют менее -10 дБ (что соответствует $КСВН = 2$) в диапазоне измерений 2...16 ГГц, что перекрывает расчетный диапазон 3,13...15 ГГц.

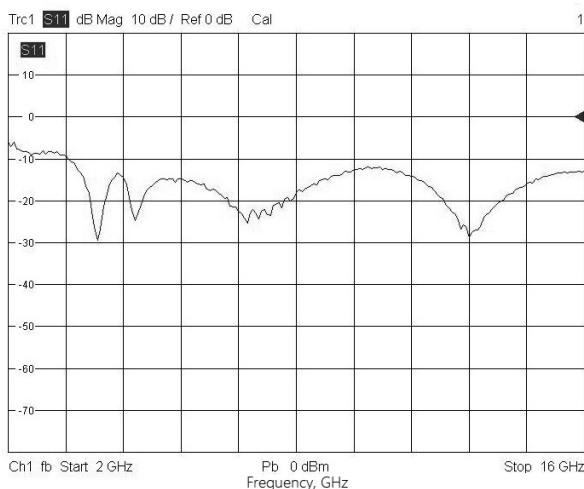


Рисунок 6. Потери на отражение S_{11} ФМАИ-1

График S_{11} на рисунке 6 демонстрирует несколько резонансов: четыре – «крупных» и большое количество «мелких», которые, перекрываясь, образуют единый рабочий диапазон частот. Указанное расширение диапазона справедливо для всех образцов ФМАИ, за исключением ФМАИ-16, что объясняется внутренним дефектом, поскольку визуальный контроль не выявил отклонений от чертежа изделия.

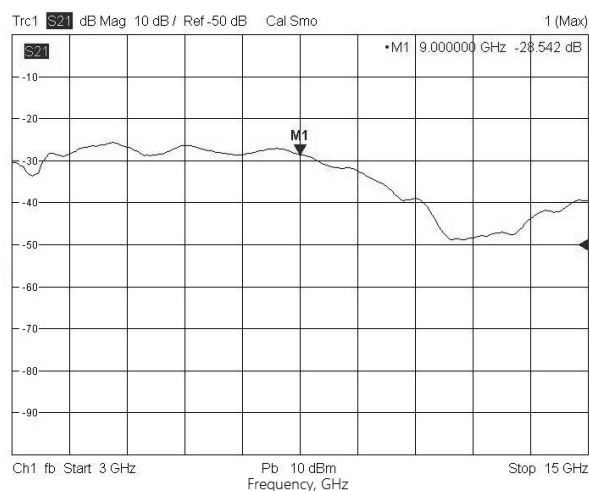


Рисунок 7. Модуль коэффициента передачи ФМАИ-1

Измерения модуля коэффициента передачи S_{21} были проведены в диапазоне 3...15 ГГц. Согласно данным рисунка 7 поведение данной характеристики стабильно до частоты 10 ГГц, а далее характеризуется спадом до уровня -48 дБ.

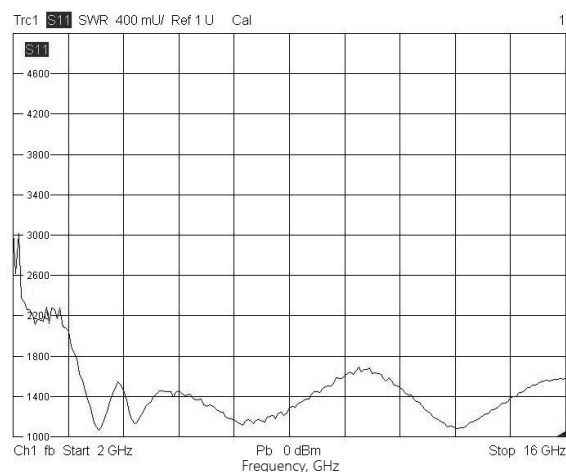


Рисунок 8. КСВН ФМАИ-1

По рисунку 8 видно, что $КСВН < 2$ в диапазоне 1,9...16 ГГц, что лучше расчетных значений: на нижней частоте $КСВН = 2$, далее колеблется вблизи 1,4 и не превышает 1,7 на частоте 10 ГГц, минимум составляет 1,1. Это свидетельствует о том,

что ФМАИ-1 хорошо согласован в заданном рабочем диапазоне. Другие образцы ФМАИ по характеристикам аналогичны ФМАИ-1, хотя для некоторых из них максимум КСВН = 1,9 – что, тем не менее, также укладывается в требуемые нормы. На рисунке 9 представлены результаты измерений действительной и мнимой частей входного сопротивления антенны. Согласно графикам, действительная часть близка к значению 50 Ом, на которое и было рассчитано согласование ФМАИ, а мнимая часть близка к нулю. В обоих случаях наблюдаются лишь незначительные отклонения, что свидетельствует о хорошем согласовании.

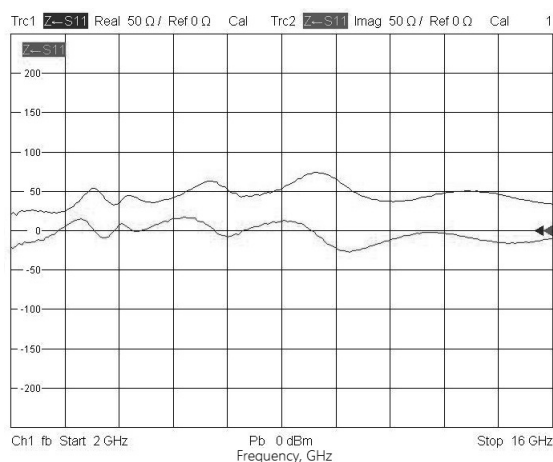


Рисунок 9. Действительная и мнимая части входного сопротивления ФМАИ-1

Диаграмма направленности ФМАИ была измерена в двух плоскостях: горизонтальной и вертикальной (см. рисунки 10 и 11 соответственно) на частотах 3; 5; 7,5; 10 и 15 ГГц. По рисункам можно видеть, что в горизонтальной плоскости ДН имеет форму, близкую к окружности, что говорит о всенаправленном характере излучения.

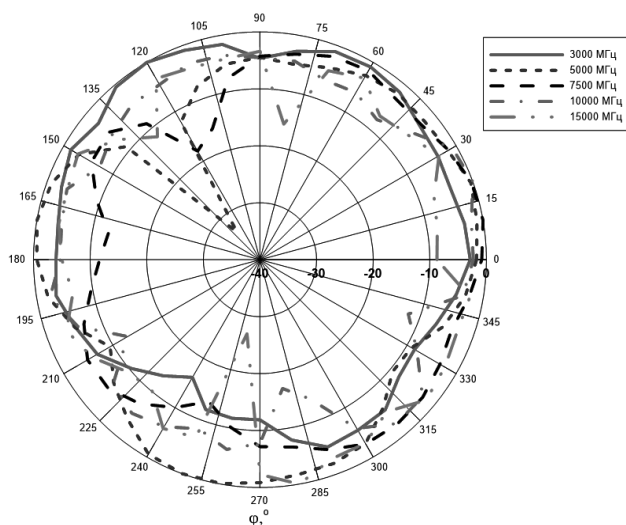


Рисунок 10. ДН в горизонтальной плоскости

В вертикальной плоскости ДН на частотах 3 и 5 ГГц близка к кардиоиде, причем с ростом частоты происходит искажение ДН, которое тем сильнее, чем выше частота. Вышесказанное подтверждает результаты имитационного моделирования и свидетельствует о том, что ФМАИ является слабонаправленной антенной.

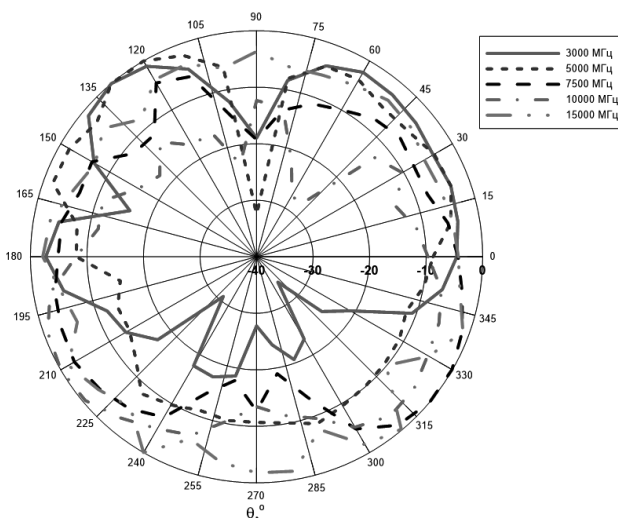


Рисунок 11. ДН в вертикальной плоскости

В целом можно сказать, что все представленные образцы ФМАИ характеризуются широким диапазоном рабочих частот; имеют центральную частоту 7,5 ГГц, где обеспечивается наилучшее согласование; ДН, близкую по форме к ДН полуволнового диполя. Все это является хорошим показателем для данного класса микрополосковых СШП-антенн.

Выявленные в процессе лабораторных измерений отличия заявленных характеристик ФМАИ от результатов моделирования объясняются следующими возможными причинами. При изготовлении образцов ФМАИ имеет место погрешность, связанная с невозможностью идеального воспроизведения спроектированного устройства ввиду ограничений, накладываемых технологией изготовления, а также внутренними дефектами материала, из которого изготовлены образцы ФМАИ. Другой причиной отклонений является погрешность при проведении измерений в БЭК. Тем не менее, резюмируя вышесказанное, можно утверждать, что результаты моделирования и измерений, проведенных в БЭК, между собой близки, что свидетельствует о корректности расчетов, а также о возможности успешного применения ФМАИ на практике.

Заключение

Представлено экспериментальное исследование ФМАИ, предназначенного для использования в составе экспериментального стенда «Радио

по оптоволокну» в СШП-диапазоне частот. При изготовлении ФМАИ были использованы современные высокотехнологические материалы и элементная база промышленного назначения.

На образцах ФМАИ в БЭК были исследованы следующие характеристики: КСВН, потери на отражение, коэффициент передачи, входное сопротивление, ДН. В результате установлено соответствие теоретических и экспериментальных данных, подтвержден рабочий диапазон частот 3,13...15 ГГц, КСВН менее 2, действительная часть входного сопротивления близка к 50 Ом, мнимая – к нулю, антенна является всенаправленной. Проанализированы причины отклонений экспериментальных параметров ФМАИ от соответствующих им расчетных значений.

Помимо применения ФМАИ в составе стенда «Радио по оптоволокну» они также могут быть использованы в антенно-фидерных трактах мобильных устройств систем широкополосной связи с целью уменьшения их габаритов за счет передачи и приема сигналов различных стандартов на одно антенное устройство. Таким образом, свойства ФМАИ позволяют значительно расширить возможности современных и проектируемых систем связи. Исследование выполнено при поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам (Конкурс СП-2018).

Литература

- Mandal T., Das S. A coplanar waveguide fed hexagonal shape Ultra wide band antenna with WiMAX and WLAN band rejection // *Radioengineering*. – 2014. – Vol.23. – No.4. – P. 1077-1085.
- Peng H., Luo Y., Shi Z. Triple band-notched UWB planar monopole antenna using triple-mode resonator // *Progress in electromagnetics research C*. – 2015. – Vol. 57. – P. 117-125. DOI: 10.2528/PIERC15040703.
- Beigi P., Nourinia J., Mohammadi B., Valizade A. Bandwidth enhancement of small square monopole antenna with dual band notch characteristics using U-shaped slot and butterfly shape parasitic element on backplane for UWB applications // *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*. – 2015. – Vol. 30. – No. 1. – P. 78-85.
- Fakharian M.M., Rezaei P., Azadi A. A planar UWB bat-shaped monopole antenna with dual band-notched for WiMAX/WLAN/ DSRC // *Wireless Pers. Commun.* – 2015. – P. 882-891. DOI: 10.1007/s11277-014-2162-8.
- Ouda M. A novel elliptically shaped compact planar Ultra-wideband antenna // *Journal of Engineering Research and Technology*. – 2014 – vol. 1. – Issue 1. – 5 p.
- Shakib M.N., Moghavvemi M., Mahadi W.N. Design of a compact planar antenna for Ultra-wideband operation // *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*. – 2015 – Vol. 30. – No. 2. – P. 222-229.
- Белоусов О.А., Курносков Р.Ю., Горшков П.А., Рязанова А.Г. Антенная решетка на основе широкополосной планарно-щелевой антенны с экспоненциальным изменением ширины щели для систем беспроводного широкополосного доступа // *Вопросы современной науки и практики*. – 2015. – С. 184-194.
- Lu W.-J., Shi J.-W., Tong K.-F., Zhu H.-B. Planar end-fire circularly polarized antenna using combined magnetic dipoles // *IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters*. – 2015. – 4 p. DOI: 10.1109/LAWP.2015.2401576.
- Zi-Han Wu, Feng Wei, Xiao-Wei Shi, Wen-Tao Li. A compact quad band-notched UWB monopole antenna loaded one lateral L-shaped slot // *Progress in electromagnetics research*. – 2013. – Vol. 139. – P. 303-315. DOI: 10.2528/PIER13022714.
- Абдрахманова Г.И., Багманов В.Х. Сверхширокополосная система связи на основе новых моделей импульсов и антенн // *Вестник УГАТУ*. – 2013. – Т.17. – №4 (57). – С. 152-159.
- Абдрахманова Г.И. Повышение эффективности сверхширокополосных систем связи на основе оптимизации формы импульсов. Дисс. к.т.н. Уфа, 2013. – 142 с.

Получено 15.12.2018

Абдрахманова Гузель Идрисовна, к.т.н., доцент Кафедры телекоммуникационных систем (ТС) Уфимского государственного авиационного технического университета (УГАТУ). Тел. +7 987-473-90-42. E-mail: gu-zel.idrisovna@gmail.com

Мешков Иван Константинович, к.т.н., доцент Кафедры ТС УГАТУ. Тел. +7-927-927-92-85. E-mail: mik.ivan@bk.ru

Князев Николай Сергеевич, к.т.н., доцент Департамента радиоэлектроники и связи Уральского Федерального университета. Тел. (8-343) 361-19-84. E-mail: nknyazev@yandex.ru

Султанов Альберт Ханович, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой ТС УГАТУ. Тел. +7-903-310-00-70.
E-mail: tks@ugatu.ac.ru

UWB ANTENNA EXPERIMENTAL STUDY

Abdrakhmanova G.I.¹, Knyazev N.S.², Meshkov I.K.¹, Sultanov A.Kh.¹

¹Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

²Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation

E-mail: guzel.idrisovna@gmail.com

The paper describes an experimental study of a fractal miniature antenna radiator, which operates in ultra wideband band 3,13...15 GHz. The antenna is constructed using Rogers RO4350B material, which is a thermosetting polymer with the addition of ceramics. It was assembled on the basis of the printed circuit boards technology and complies to the 5th class of accuracy. The total antenna size including the connector equals to 19×39 mm², its radiating part is simple and consists of two modified circles. The antenna was measured in anechoic chamber, which has proven its characteristics, including the acceptable matching in the mentioned band. Since it provides simplicity and cost reduction in case of mass production, it can be used in many other areas, such as 3G-5G and Radio-over-Fiber networks.

Keywords: *ultra wideband communication; microstrip antennas; reflection coefficient; anechoic chamber; experimental study*

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.13

Abdrakhmanova Guzel Idrisovna, Ufa State Aviation Technical University, 12-6 Karl Marx str., Ufa, 450008, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Telecommunication Systems, PhD in Technical Sciences. Tel. +79874739042. E-mail: guzel.idrisovna@gmail.com

Meshkov Ivan Konstantinovich, Ufa State Aviation Technical University, 12-6 Karl Marx str., Ufa, 450008, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Telecommunication Systems, PhD in Technical Sciences. Tel. +79279279-85. E-mail: mik.ivan@bk.ru

Knyazev Nikolay Sergeevich, Ural Federal University, 32-313 Mira str., Ekaterinburg, 620078, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Radioelectronic and Communication, PhD in Technical Science. Tel. +73433611984. E-mail: nknyazev@yandex.ru

Sultanov Albert Khanovich, Ufa State Aviation Technical University, 12-6 Karl Marx str., Ufa, 450008, Russian Federation; Head of the Department of Telecommunication Systems, Doctor of Technical Science, Professor. Tel. +79033100070. E-mail: tks@ugatu.ac.ru

References

1. Mandal T., Das S. A coplanar waveguide fed hexagonal shape Ultra wide band antenna with WiMAX and WLAN band rejection. *Radioengineering*, 2014, vol. 23, no. 4, pp. 1077-1085.
2. Peng H., Luo Y., Shi Z. Triple band-notched UWB planar monopole antenna using triple-mode resonator. *Progress in electromagnetics research C*, 2015, vol. 57, pp. 117-125. DOI: 10.2528/PIERC15040703.
3. Beigi P., Nourinia J., Mohammadi B., Valizade A. Bandwidth enhancement of small square monopole antenna with dual band notch characteristics using U-shaped slot and butterfly shape parasitic element on backplane for UWB applications. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 2015, vol. 30, no. 1, pp. 78-85.
4. Fakharian M. M., Rezaei P., Azadi A. A planar UWB bat-shaped monopole antenna with dual band-notched for WiMAX/WLAN/ DSRC. *Wireless Pers. Commun.*, 2015, pp. 882-891. DOI: 10.1007/s11277-014-2162-8.
5. Ouda M. A novel elliptically shaped compact planar Ultra-wideband antenna. *Journal of Engineering Research and technology*, 2014, vol. 1, no. 1, pp. 5.
6. Shakib M. N., Moghavvemi M., Mahadi W. N. L. Design of a compact planar antenna for Ultra-wideband operation. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 2015, vol. 30, no. 2, pp. 222-229.
7. Belousov O. A., Kurnosov R. Y., Gorshkov P. A., Ryazanova A. G.. Antennaya reshetka na osnove shirokopolosnoj planarno-shchelevoj anteny s ehks-ponencial'nym izmeneniyem shiriny shcheli dlya sistem besprovodnogo shirokopolosnogo [Antenna grid based on a wide-band planar-slit antenna with an ex-

- potential change in the slot width for wireless broadband access systems]. *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki*, 2015, pp. 184-194.
8. Lu W.-J., Shi J.-W., Tong K.-F., Zhu H.-B. Planar end-fire circularly polarized antenna using combined magnetic dipoles. *IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters*, 2015. pp. 4. DOI: 10.1109/LAWP.2015.2401576.
 9. Wu Zi-Han, Wei Feng, Shi Xiao-Wei, Li Wen-Tao. A compact quad band-notched UWB monopole antenna loaded one lateral L-shaped slot. *Progress in electromagnetics research*, 2013, vol. 139, pp. 303-315. DOI: 10.2528/PIER13022714.
 10. Abdrakhmanova G. I., Bagmanov V.H. Sverhshirokopolosnaya sistema svyazi na osnove novykh modelej impul'sov i antenn [Ultra-wideband communication system based on new pulse and antenna models]. *Vestnik UGATU*, 2013, vol. 17, no. 4 (57), pp. 152-159.
 11. Abdrakhmanova G.I. *Povyshenie ehffektivnosti sverhshirokopolosnykh sistem svyazi na osnove optimizacii formy impul'sov* [Increase in the efficiency of ultra-wideband communication systems based on pulse shape optimization]. Dissert. cand. of technical sciences, 2013. 142 p.

Received 15.12.2018

УПРАВЛЕНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ

УДК 006.91:510.644

МЕТОДИКА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА НЕЧЕТКИХ СИТУАЦИЙ

Рыжаков В.В.¹, Рыжаков К.В.², Рыжаков М.В.³

¹ Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия

² Научно-исследовательский и конструкторский институт радиоэлектронной техники - филиал ПО «Старт» им М.В. Проценко, г. Заречный Пензенской области, Россия

³ Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный Московской области, Россия
E-mail: mryzhakov@applmech.mipt.ru

В статье выделяются обстоятельства, определяющие различные условия, усложняющие получение и формализацию исходной актуальной информации об объекте, подвергаемым наблюдению или локализации в определенный момент времени. С учетом указанных обстоятельств для решения задачи распознавания объекта рекомендуется использовать в качестве основ методик нечеткую информацию. Для развития этого направления в статье предлагается использовать так называемые алгебры-шкалы и соответствующие методы шкалирования и кластеризации для получения и преобразования нечеткой информации. С целью обобщения указанной информации в статье используется понятие нечеткой ситуации. При этом выделяется текущая и типовая ситуации. Их совокупности определяют (характеризуют) как наблюдаемый образ объекта, так и его возможный типовой образ, отвечающий конкретным обстоятельствам. При этом для более оперативного распознавания образа объекта рекомендуется использовать кластерный анализ, позволяющий объединить типовые ситуации в кластеры с определенными свойствами, и на основе использования нечетких отношений включения или равенства определить след движения текущей ситуации по указанным кластерам. Это в значительной степени позволяет повысить оперативность принятия соответствующих ответных решений на поведение наблюдаемого объекта. Такие решения предлагается заранее разработать и запрограммировать. В статье приводятся аналитические выражения алгоритмов, необходимые для реализации методики распознавания объекта и приводится пример кластеризации типовых ситуаций в виде матричного построения.

Ключевые слова: нечеткая ситуация, кластер, отношения включения, равенства, след ситуации

Введение

Процесс распознавания какого-то образа (объекта) предполагает определенную степень сложности представления соответствующей информации. Последнее определяется в значительной степени отсутствием полной совокупности све-

дений. Эта информация в лучшем случае может носить стохастический характер. В других случаях будет носить более неопределенный нечеткий характер, который можно представить в количественном виде элементами нечетких множеств [1, 2] нечеткой алгебры [3]. Элементы такой алгебры

предполагают, в свою очередь, использование специальных методов шкалирования и измерения [4]. При этом должны учитываться принципы нечеткой логики [5-7].

Постановка задачи

Измерение нечеткой информации согласно [4] основано на использовании условных шкал нечетких эталонных объектов – термов на базовом множестве, путем назначения (выбора) типовых представителей. В последующем фаззифицируются все значения базового множества, характеризующие параметры объекта, путем использования функций принадлежности. На основе условных шкал представляется неполная нечеткая информация путем определения её нечеткого включения в типовые термы.

Решение задачи

При этом терм с наибольшим включением текущей ситуации можно считать предварительным результатом измерения нечеткой информации. В этот результат вводятся поправки с использованием дефаззификации при использовании функций принадлежности всех термов конкретной шкалы.

В связи с тем, что объект является достаточно сложным, для его описания целесообразно использовать такие понятия, как нечеткая ситуация [2-8]. Ее параметры – результат рассмотренных измерений. Поэтому с учетом этих данных, полученных на предметных шкалах, нечеткую ситуацию (\tilde{S}_t) на момент времени t можем представить следующей совокупностью данных:

$$\tilde{S}_t = \left\{ \mu_{j_i} \left(x_t^{(i)} \right) / x_t^{(i)} \right\}, \quad (1)$$

где $i \in \{1, 2, \dots, I\}$ – номера признаков (параметров) объектов; $j_i \in \{0, 1, \dots, J_i\}$ – номера термов на условной шкале, соответствующей i -му параметру объекта; $\mu_{j_i} \left(x_t^{(i)} \right)$ – функция принадлежности значения $x_t^{(i)}$ нечеткому множеству – терму \tilde{j}_i .

Обобщенное идентифицированное выражение функции принадлежности согласно [3] представляется в виде:

$$\mu_{j_i} \left(x_t^{(i)} \right) = \exp \left\{ \left[\frac{|x_t^{(i)} - x_{j_i}| \cdot 2J}{X_0} \right]^g \cdot \ln t_{inc} \right\}, \quad (2)$$

где X_0 – базовое множество на предметной шкале; g – параметр, характеризующий нарушение комплементарности нечетких множеств (термов) условной шкалы.

Для того чтобы распознать образ объекта, необходимо сравнить текущую нечеткую ситуацию, характеризующую объект, с типовой нечеткой ситуацией. Сравнение возможно в виде нечеткого включения:

$$\nu \left(\tilde{S}_t, \tilde{S}_g \right) = \& \nu \left(\left(\mu_{\tilde{s}_p} \rightarrow \mu_{\tilde{s}_g} \right) \right), \quad (3)$$

или равенства

$$\mu \left(\tilde{S}_t, \tilde{S}_g \right) = \nu \left(\mu_{\tilde{s}_t} \rightarrow \mu_{\tilde{s}_g} \right) \& \nu \left(\mu_{\tilde{s}_g} \rightarrow \mu_{\tilde{s}_p} \right), \quad (4)$$

где \rightarrow выражает оператор импликации следует учитывать его особенности [4, 9].

В выражениях (2) и (3) символ t можно принять за обозначение текущей ситуации, а g – типовой.

Типовую ситуацию по аналогии с (1) можем представить так:

$$\tilde{S}_{Tf} = \left\{ \mu_{j_i} \left(x_{j_i}^{(i)} \right) / x_{j_i}^{(i)} \right\}, \quad (5)$$

Каждый элемент ситуации (1) и (4) характеризуется значением параметра и соответствующей функцией принадлежности.

Если ввести виртуальный эталон объекта, то можно перейти с предметных шкал на универсальные шкалы, на которых базовые множества $\alpha_0 = 1$. Переход на универсальные шкалы осуществляется с использованием функций отображения [3, 4]. При этом выражение (2) переписется в виде:

$$\mu_{j_i} \left(\alpha_t^{(i)} \right) = \exp \left\{ \left[\left| \alpha_t^{(i)} - \alpha_{j_i}^{(i)} \right| 2J \right]^g \cdot \ln t_{inc} \right\}, \quad (6)$$

Заключение

Приведенные выражения ситуаций (типовых) позволяют все возможные состояния изучаемого (наблюдаемого) объекта представить матрицей кластеров $\left(M \left(K^{(r)} \right) \right)$ [4, 10], что не снижает общности последующих исследований. Её вид в единицах универсальных шкал $\left(\alpha_{j_i}^{(i)} \right)$ примет вид рис. 1. В матрице $\left(\alpha_{j_i}^{(i)} \right)$ на рис. 1 выражены элементы через параметры типовых ситуаций в единицах универсальных шкал. Выделено 7 кластеров по принципу суммирования индексов (номеров) термов (j_i). Суммы равны, соответственно, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6. Подобный подход условно предполагает, что с ростом суммы номеров кластеров возрастает степень опасного состояния, т.е. так выражаются Spur движения текущей ситуации во времени \tilde{S}_t с параметрами $\left(\alpha_{j_i}^{(i)} \right)_t$. Spur , так определенный

след ситуации, позволяет наметить ответные меры со стороны оператора охраны. Более конкретные выводы требуют достаточно объемного экспе-

римента, например, численного. Методологию данного эксперимента можно найти в [3]. При этом следует учитывать особенности ситуации [11, 12].

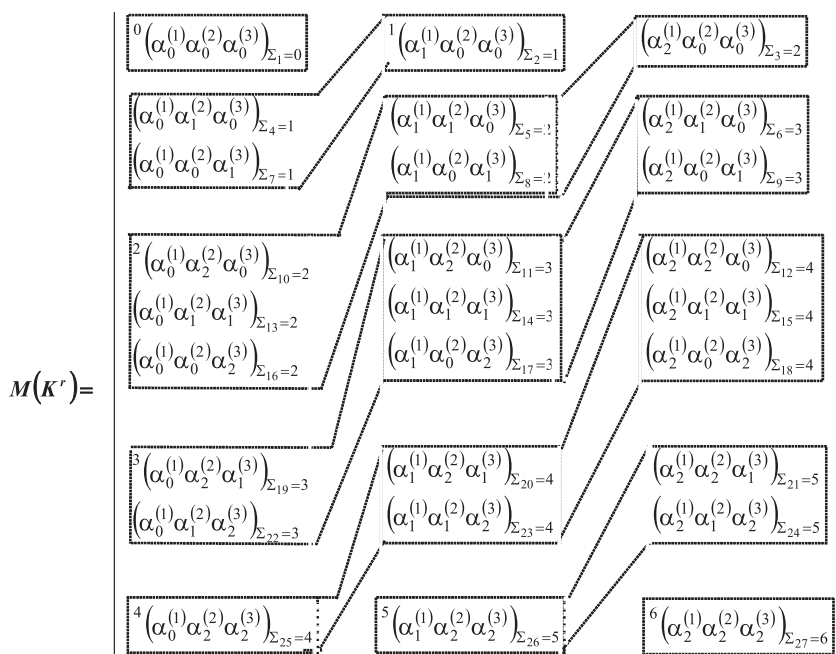


Рисунок 2. Матричное и кластерное представление типовых ситуаций

Литература

1. Аверин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 311 с.
2. Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Г. Ситуационные советы системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
3. Рыжаков В.В., Рыжаков М.В. Прикладная метрология на основе представлений нечетких множеств. Основы диагностирования в условиях чрезвычайных ситуаций. – М.: МФТИ, 2009. – 143 с.
4. Рыжаков В.В., Рыжаков М.В. Аналитические положения прогнозирования состояния объектов с учетом шкалирования и кластеризации нечеткой информации. – М.: МФТИ, 2015. – 86 с.
5. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные системы – М.: Физматлит, 2001. – 225 с.
6. Потюпкин А.Ю. Применение нечеткой логики в задачах контроля технического состояния летательных аппаратов // Измерительная техника. – 2002. – №7. – С. 12.
7. Новак В., Перфильева И., Мочкорж И. Математические принципы нечеткой логики – М.: Физматлит, 2006. – 347 с.
8. Рыжаков В.В., Рыжаков М.В., Рыжаков К.В. Отражение точности идентификации нечетких множеств в представлениях ситуаций // Измерительная техника. – 2004. – №10. – С. 20-23.
9. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. Пер. с англ. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.
10. Миркин Б.Г. Методы кластер-анализа для поддержки принятия решений. Обзор. – М.: Изд. дом НИУ ВШЭ, 2011. – 88 с.
11. Ямалов Н.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2009. – 288 с.
12. Ambrosini V., Bowman C. Managerial consensus and corporate // European Management Journal. – 2003. – Vol. 21. – No 2. – P. 213-221. DOI: 10.1016/S0263-2373(03)00016-1.

Получено 22.11. 2018

Рыжак **Виктор Васильевич**, д.т.н., Заслуженный деятель науки РФ, профессор Кафедры технического управления качеством Пензенского государственного технологического университета. Тел. (8-841) 220-86-03. E-mail: rvv@penzgtu.ru

Рыжак **Константин Викторович**, к.т.н., начальник НТО Научно-исследовательского и конструкторского института радиоэлектронной техники – филиала ПО «Старт» им. М.В. Проценко. Тел. (8-841) 65-48-11. E-mail: Lina@nikiret.ru

Рыжак **Михаил Викторович**, старший преподаватель Кафедры прикладной механики, заведующий лабораторией прикладных нанотехнологий Московского физико-технического института (государственный университет). Тел. (8-498) 744-63-41. E-mail: mryzhakov@applmech.mipt.ru

OBJECT RECOGNITION METHOD BASED ON CLUSTERING ANALYSIS OF FUZZY SITUATION

Ryzhakov V.V.¹, Ryzhakov K.V.², Ryzhakov M.V.³

¹Penza State Technological University, Penza, Russian Federation

²Research and Design Institute of Radioelectronic Technology,

Branch of PA «Start» named after M.V. Protsenko», Zarechny, Penza region, Russian Federation

³Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny,

Moscow Region, Russian Federation

E-mail: mryzhakov@applmech.mipt.ru

The article highlights the aspects determining various conditions that complicate obtaining and formalizing the initial actual information about the object being monitored or localized at a certain point in time. Taking into account the above aspects, it is recommended to use fuzzy information as the basis for the methods of object recognition. To develop this direction, it is proposed to use so-called algebra-scales and appropriate methods of scaling and clustering to obtain and convert fuzzy information. In order to generalize this information, the article uses the concept of fuzzy situation. The current and typical situations are isolated. Their aggregates define (characterize) both the observed image of the object, and its possible typical image, which corresponds to specific circumstances. In order to recognize the image of an object more quickly, it is recommended to use cluster analysis, which allows to combine typical situations into clusters with certain properties, and to trace the movement of the current situation inside the specified clusters using the fuzzy inclusion or equality relations. This, to a significant degree, makes it possible to increase the efficiency of deciding on an appropriate response to the behavior of the observed object. It is proposed to develop and program such solutions in advance. The article contains analytical expressions of algorithms necessary for implementing the method of object recognition and provides an example of clustering of typical situations using matrices.

Keywords: *fuzzy situation, cluster, relations of switching, equality, situation trace*

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.14

Ryzhakov Viktor Vasilevich, Penza State Technological University, Russia, Penza, 1a/11 Baidukova travel Baidukova av. / Gagarina str., Penza, 440039, Russian Federation; Professor of the Department of Technical Quality Management, Doctor of Technical Science, Honored Worker of Science of the Russian Federation. Tel. +7412208603. E-mail: rvv@penzgtu.ru.

Ryzhakov Konstantin Viktorovich, Research and Design Institute of Radioelectronic Technology – branch of PA «Start» named after M.V. Protsenko, 1 Prospect Mira, Zarechny, Penza region, 442962, Russian Federation; Head of Scientific and Technical Department, PhD in Technical Sciences. Tel. +7412654811. E-mail: Lina@nikiret.ru

Ryzhakov Mikhail Viktorovich, Moscow Institute of Physics and Technology (State University), 9 Institutsky per., Dolgoprudny, Moscow region, 141701, Russian Federation; Senior Teacher of the Department of Applied Mechanics, Head of the Laboratory of Applied Nanotechnologies. Tel. +74987446341. E-mail: mryzhakov@applmech.mipt.ru

References

1. Averin A.N., Batuirshin B.P., Blishun A.F., Silov V.B. *Nechetkie mnozestva v modeliah upravleniya i iskusstvennogo intellekta* [Fuzzy sets in control models and artificial intelligence]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 311 p.
2. Melikhov A.N., Bernshtein L.S., Korovin S.G. *Situacionnye soveti s nechetkoi logikoi* [Situational advice system with fuzzy logic]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 272 p.
3. Ryzhakov V.V., Ryzhakov M.V. *Prikladnaya metrologiya na osnove predstavleniya nechetkih mnojestv. Osnovy diagnostirovaniya v usloviakh chrezvychainykh situatsii* [Applied metrology based on representations of fuzzy sets. Basics of diagnosing in emergencies]. Moscow, Moscow Institute of Physics and Technology, 2009. 143 p.
4. Ryzhakov V.V., Ryzhakov M.V. *Analiticheskie polozenia prognozirovaniya sostoyaniya obyektov s uchetom shkalirovaniya i klasterizatsii nechetkoi informatsii* [Analytical provisions for fore-casting the state of objects, taking into account the scaling and clustering of fuzzy information]. Moscow, Moscow Institute of Physics and Technology, 2015. 86 p.
5. Kruglov V.V., Long M.I., Golunov R.Yu. *Nechetkaya logika i iskusvennye neirony* [Fuzzy logic and artificial neural systems]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2001. 225 p.
6. Potyupkin A.Yu. *Primenenie nechetkoy logiki v zadachah kontrolya tehnikeskogo sostoyaniya letatelnykh apparatov* [Application of fuzzy logic in problems of technical condition control of aircraft]. *Izmeritelnaya tekhnika*, 2002, no. 7, p. 12.
7. Novak W., Perfilieva I., Mochkorzh J. *Matematicheskie principy nechetkoi logiki* [Mathematical principles of fuzzy logic]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2006. 347 p.
8. Ryzhakov V.V., Ryzhakov M.V., Ryzhakov K.V. *Otazhenie tochnosti identifikatsii nechetkih mnogestv v predstavleniyakh situatsii* [Reflection of the accuracy of identification of fuzzy sets in the representations of situations]. *Izmeritelnaya tekhnika*. 2004, no. 10, pp. 20-23.
9. Andrzej Piegat. *Fuzzy Modeling and Control*. Physica, 2001. 728 p. (Russ. ed. Pegat A. *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie*. Moscow, Binom. Laboratoriya znaniy, 2009. 798 p.)
10. Mirkin B.G. *Metodye klasteranaliza dlya podderzki prinyatiya reshenii. Obzor* [Methods of cluster analysis to support decision-making. Overview]. Moscow, Higher School of Economics, 2011. 88 p.
11. Yamalov N.U. *Modelirovanie processov upravleniya i prinyatiya reshenii v usloviyakh chrezvychainykh situatsii* [Modeling the processes of management and decision-making in emergency situations]. Moscow, Laboratoriya bazovykh znaniy Publ., 2009. 288 p.
12. Ambrosini V., Bowman C. *Managerial consensus and corporate strategy*. *European Management Journal*, 2003, vol. 21, no. 2, pp. 213-221. DOI: 10.1016/S0263-2373(03)00016-1.

Received 22.11.2018

ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

УДК 681.518: 339.13

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ: ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ АСПЕКТЫ

Димов Э.М., Маслов О.Н.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: e.m.dimov@gmail.com

Рассматриваются образовательные и научно-исследовательские аспекты процесса формирования цифровой экономики с применением современных инфокоммуникационных и информационных технологий. Отмечена роль ИТ, которую они играют при создании ЦЭ путем внедрения новых инфокоммуникационных технологий в производственные технологии и расширения концепции Industry 4.0 до Society 5.0. Обсуждается проблема создания отечественной системы генерации и реализации инновационных знаний, без которой формирование цифровой экономики в России невозможно. Представлены исследования в области цифровой экономики, которые проводит научная школа

«Имитационное моделирование и управление сложными процессами в организационно-технических и социально-экономических системах», созданная Российской академией естественных наук на базе кафедры «Прикладная информатика» ПГУТИ. Значение комплексного подхода к внедрению новых информационных технологий, инфокоммуникационных технологий и производственных технологий иллюстрируется на конкретных примерах. Представлены учебно-исследовательские и научные проекты в сфере цифровой экономики, выполненные студентами и аспирантами ПГУТИ в 2010-18 гг. Отмечены трудности перехода к Society 5.0 ввиду кризисных угроз и антироссийских санкций. Показана необходимость лифтинга и демократизации знаний в интересах повышения эффективности корпоративного управления при формировании цифровой экономики.

Ключевые слова: концепции Industry 4.0 и Society 5.0; цифровая экономика; информационные и инфокоммуникационные технологии; система генерации и реализации инновационных знаний; учебно-исследовательские и научные проекты ПГУТИ; кризисные угрозы и антироссийские санкции; лифтинг и демократизация знаний

Введение

По определению специалистов Центра стратегических разработок Российской Федерации (октябрь, 2017 г.), цифровизация экономики – это «в широком смысле процесс переноса в цифровую среду функций и деятельности (бизнес-процессов), ранее выполнявшихся людьми и организациями» [1]. Из обсуждаемых в настоящее время вариантов [2] данная формулировка, по мнению авторов, наиболее приемлема для нашей страны – где не потеряли актуальность такие ее альтернативы, как сырьевая, производственная и мобилизационная экономика. Хотя сам по себе термин «цифровая экономика» (далее ЦЭ) кажется не очень удачным европейским вариантом своего заокеанского аналога API (Application Programming Interface – интерфейс программирования приложений), который гораздо лучше передает его конкретную сущность.

Тем не менее, приведенное определение указывает на прикладной смысл и социальную значимость ЦЭ: в частности, дезавуирует мнение о том, что Россия не сможет перейти от сырьевой экономики к цифровой, минуя экономику производственную. И в сырьевой, и в производственной экономике вполне возможно формирование секторов с оцифрованными бизнес-процессами – если, конечно, материальные и интеллектуальные ресурсы лиц, принимающих решения (ЛПР) позволяют это сделать. К сожалению, среди российских политиков, бизнесменов, финансистов нет сегодня единства ни по сути определения ЦЭ, ни относительно путей перехода к ней: разные ЛПР вкладывают в данный термин разный смысл. Более того, их соображения о роли и месте как информационных (ИТ), так и инфокоммуникационных (ИКТ) технологий в современном обществе также различаются между собой и далеко не всегда соответствуют реальности в теории и на практике.

Отсутствие ясных перспектив развития и четко обозначенных целей всегда затрудняет их дости-

жение – хотя в настоящее время усилия ЛПР так сконцентрированы на решении данной проблемы, что конечный успех сомнений не вызывает. В то же время без малого вековой суммарный опыт научно-педагогической деятельности позволяет авторам надеяться внести свою лепту в части, касающейся ее образовательных аспектов [3-6].

Цель статьи – анализ перспектив согласованного взаимодействия ИТ и ИКТ в интересах развития ЦЭ с учетом возможностей высшей школы России, включая отраслевые вузы связи и информатики.

Онтологическая модель ситуации

Согласно [2], по данным зарубежных источников, наблюдаемая в мире четвертая промышленная революция Industry 4.0 имеет ввиду повышение конкурентоспособности бизнеса посредством интеграции «киберфизических» систем (Cyber Physical Systems – CPS) в производственные процессы. Прогнозируемый годовой объем инвестиций в сферу цифровизации к 2020 г. превысит \$ 900 млрд., что объясняется следующими причинами:

- продолжает расти динамика объема данных в системах управления (СУ) бизнесом, сопровождаемая увеличением требуемых вычислительных ресурсов и ростом эффективности систем передачи информации, в том числе на основе разветвленных широкополосных сетей доступа;

- активно развиваются технологии интеллектуального анализа данных и высокоэффективных форм человеко-машинного взаимодействия;

- появляются новые возможности для интенсивного обмена информацией между виртуальной и реальной средами в составе СУ, включающих робототехнические и другие CPS.

Следующим этапом развития, по версии экспертов, является переход к концепции Society 5.0, которая предполагает расширение Industry 4.0 за пределы производственного сектора с целью конвергенции физической и виртуальной сред функ-

ционирования мирового сообщества – в интересах повышения уровня жизни, блага и удобства для каждого человека. В этой связи пропагандировать системный подход к решению проблем ЦЭ особой необходимости нет.

Однако расхожие понятия «система», «проблема», «цель», «модель», «состояние», «управление», во-первых, не всем сегодня ясны в должной мере, поскольку в вузах связи, например, системному анализу и теории управления учат далеко не всех, а во-вторых, они не являются статичными и в значительной мере варьируются, преобразуются при переходе от одной решаемой задачи к другой. Важно, например, что выдающийся отечественный ученый Н.Н. Моисеев, чей 100-летний юбилей был отмечен в 2017 году, из множества сложных систем (СС) с иерархической структурой выделял так называемые нерелекторные СС (социально-экономические, экологические, военные и т.п.) – неотъемлемым компонентом которых является «человеческий фактор» [7].

Процессы управления нерелекторными СС имеют важные особенности:

- в них с успехом используются не только верифицированные (строго научные, доказанные и проверенные), но и аксиологические (интуитивные, эвристические, феноменологические) знания ЛПР – базирующиеся на субъективном понимании, а не объяснении ситуаций, принципов работы и моделирования, состава и структуры исследуемых СС;

- СУ такими СС сами являются СС иерархического типа, чтобы «настроить» их на максимум производительности, нужны гипотезы о поведении «человеческих» подсистем, входящих в состав СУ, которые должны выдвигать ЛПР также с использованием аксиологических знаний;

- эффективным способом компьютерной поддержки указанной «настройки» СУ является статистическое имитационное моделирование (СИМ): в частности, по методу Димова-Маслова (МДМ), который специально предназначен для управления нерелекторными СС [4; 6; 8].

Главное отличие нерелекторных СС от обычных технических состоит в особенностях управления эффективностью их функционирования. В теории СУ известен принцип максимума Л.С. Понтрягина, согласно которому даже самую сложную по составу и структуре техническую (релекторную по Н.Н. Моисееву) СС можно настроить по частям: подсистемам и элементам, из которых она состоит. Математически строго доказано существование варианта, при котором максимум эффективности каждого компонента

приведет к максимальной эффективности СС в целом – независимо от ее внутреннего состояния и внешних условий.

С нерелекторными СС все обстоит иначе: настраивая на максимум одни компоненты, мы расстраиваем другие, вследствие чего эффективность СС в целом может даже снижаться. А виноват в этом человеческий фактор и его негативные атрибуты: конкурентная борьба, обида на невнимание руководства, несправедливое финансирование и т.п. Поэтому возникает необходимость каждый раз рассматривать последствия предполагаемых действий ЛПР, выдвигать и анализировать гипотезы, моделировать возможные ситуации в коллективах. Инструментарий для этого предоставляет СИМ по МДМ, позволяющий исследовать модели СС в компьютерной виртуальной среде с тем, чтобы квазиоптимальные (лучшие из тех, что достижимы на практике) решения поставленных задач перенести в реальную среду

Напомним, что онтологией (от греч. *ontos* – сущее) именуется совокупность понятий (концептов) и отношений между ними в рассматриваемой предметной области. Персональные (индивидуальные) онтологии основаны на личных знаниях ЛПР, групповые онтологии формируются путем договоренности между ними и представляют собой онтологическую модель ситуации (ОМС) – куда входят как объективные верифицированные знания, признаваемые всеми ЛПР, так и субъективные аксиологические знания, остающиеся предметом дискуссии между ними. По нашему мнению, фундаментом всех научно-технологических разработок в области ЦЭ должна стать ОМС, сформированная не банкирами и бизнесменами, а тем более практикующими политиками, а наиболее компетентными ЛПР, в том числе связистами – ведущими на сегодняшний день специалистами в области ИТ и ИКТ.

Система генерации и реализации инновационных знаний

Анализ ОМС предполагает последующую работу в двух направлениях: во-первых, создание отечественной системы генерации и реализации инновационных знаний (ГРИЗ), во-вторых, активизацию совместных усилий ЛПР и связистов в интересах развития ЦЭ по перепроектированию (реинжинирингу) конкретных бизнес-процессов с применением новейших ИКТ в интересах радикального повышения эффективности производственных СС. При этом современные ИТ (см. схему на рисунке 1) реализуют связь между цифровыми ИКТ и новыми

производственными технологиями – необходимый для того, чтобы даже самые далекие от ЦЭ бизнесмены увидели путь достижения поставленных инновационных целей, почувствовали экономическую необходимость двигаться по

данному пути. Все это полностью соответствует стратегии изучения нерелекторных СС, намеченной Н.Н. Моисеевым в 70-ые годы XX века [7-8] – с учетом тактических корректив и других реалий нынешних дней.

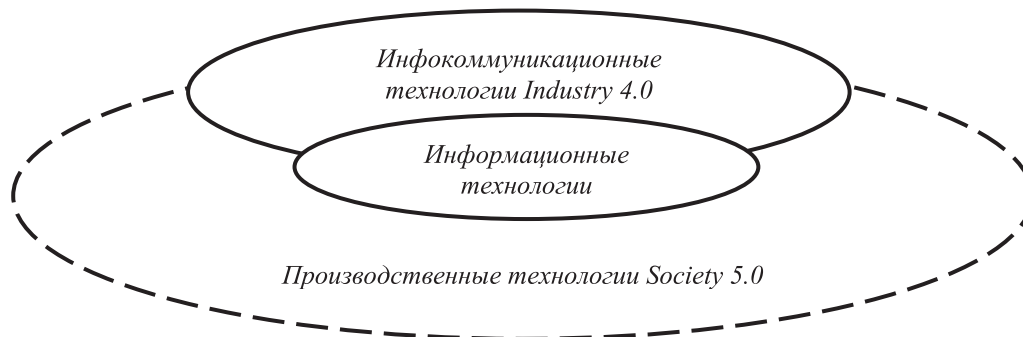


Рисунок 1. Взаимодействие ИКТ, ИТ и новых производственных технологий в рамках ЦЭ

Отсутствие системы ГРИЗ – едва ли не единственное препятствие на пути цифрового прогресса России, которое трудно преодолеть государственно-монополистическими методами и средствами администрирования, включая усилия вертикали власти. Для развития ЦЭ нужна достаточно большая, массовая интеллектуальная платформа, которую можно сформировать только путем лифтинга и демократизации ИЗ, действенной юридической и экономической поддержки «человеческого фактора» в составе системы ГРИЗ. Без повседневного участия высшей школы здесь не обойтись – тем более, что бизнес-процессы сегодня и так изучаются практически во всех университетах и колледжах, а сведения о перспективных ИТ и ИКТ легко заложить в учебные программы подготовки ЛПР самых разных специальностей.

Но этого мало: вузовской молодежи нужны полноценные знания, как верифицированные, так и аксиологические, необходимые для управления современными нерелекторными СС, а кроме того, стимулы для интенсивного самообразования, расширения научно-технологического кругозора. Что же касается прикладных компетенций, общетехнических, культурных и профессиональных навыков... Как говорил Алексей Иванович Абрикосов, знаменитый московский кондитер и некоронованный марципановый король России конца позапрошлого века: «Этому учат только приказчиков». Да еще, добавим, наших бакалавров и магистров, по научению бог весть кого, сто двадцать лет спустя.

Известно, что студент не сосуд, подлежащий наполнению знаниями, а факел, который следует зажечь на долгие годы – в том числе личным примером наставников. Если же наставники то выпрашивают помощь у государства и спонсоров, то практикуют малополезные траты – добра не жди. При этом, к сожалению, государственные, парламентские и финансовые структуры больше озабочены собственным комфортом при управлении наукой, образованием и медициной, чем заботой о рядовых исполнителях, – которые если не саботируют малополезные рекомендации и директивы «сверху», то лишь формально реагируют на них.

Ни один из стратегических компонентов системы ГРИЗ не существует, да и не создается сегодня в нашей стране с необходимой активностью. Продолжается утечка умов; отсутствуют стабильное финансирование и заказы исследований для большинства вузов; рядовые преподаватели обещанных творческих отпусков и стажировок в научных центрах так и не дождались; объем методической макулатуры продолжает расти. Конкуренция творческих коллективов, включая конкурсы и тендеры; ориентация на зарубежных коллег и англоязычные публикации; принудительное омоложение приносят больше вреда, чем пользы.

Обновлять бизнес-процессы мешает предубеждение ЛПР в том, что своими силами ничего хорошего сделать нельзя – выгоднее купить за валюту или позаимствовать другими способами. Как для законодателей, так и для руко-

водителей корпораций разной ведомственной принадлежности работы здесь непочатый край. Не претендуя на сотрудничество с ними в интеллектуальной сфере, ограничимся советом как можно шире использовать системный подход к процессу ГРИЗ, который проиллюстрируем конкретным примером.

Комплексный подход к внедрению новых производственных технологий

В конце прошлого века шведская корпорация Electrolux приобрела компанию Dubix & de Souza, специализирующуюся в области производства стиральных машин (СМ) с целью проникновения на рынок Франции [4]. Клиентами Dubix & de Souza были гостиницы и рестораны (доля на рынке – 20%); немедицинские учреждения (20%); медицинские учреждения: больницы, госпитали, клиники (20%); дома престарелых (20%); коммерческие прачечные (10%). Dubix & de Souza выпускала двухосевые СМ с вертикальной и боковой загрузкой, тогда как тенденцией рынка был переход к одноосевым СМ с фронтальной загрузкой. Располагая обновленным технологическим обеспечением, хозяева Dubix & de Souza вместо традиционного подхода: «know-how – новый продукт – новый тип клиентуры», решили применить стратегию: «сегментирование рынка – определение нужд клиента – техническое предложение – новая продукция и услуги – know-how».

Посредством данной стратегии удалось решить проблему, о которой поначалу даже никто не знал: оказалось, что в госпиталях и больницах имеет место вторичное инфицирование больных через выстиранное белье, поскольку и «чистое» от микробов, и «загрязненное» белье в СМ перемешивается, а болезнетворные организмы во влажной и теплой среде размножаются интенсивным образом. Поэтому были предложены двухкамерные СМ с отдельными загрузочными отверстиями – для «чистого» и «грязного» белья, а также надежной перегородкой-барьером между стиральными камерами. Технологии стирки изолировали друг от друга, предусмотрели дезинфекцию «грязного» белья, транспортные средства и персонал разделили на «чистые» и «грязные» и т.д. Но, что самое главное, полностью перестроили бизнес-процессы, перераспределив функции сотрудников, работающих на двухкамерных СМ.

Кроме того, была организована работа с клиентами, включавшая семинары и коллоквиумы, службу взаимного информирования спе-

циалистов, консалтинговые услуги, разработку программного обеспечения для расчета рентабельности прачечных, работающих в новых условиях, при автоматизированном управлении процессами стирки и сушки белья в усовершенствованных СМ; созданы «умные» СМ с поэтапным программированием и контролем параметров гигиены при стирке; изменен порядок финансирования учреждений, позволяющий эксплуатировать новые СМ, имея достаточные площади для «барьерных» прачечных, производить стирку и обучать персонал эффективной работе в новых условиях; созданы новые производственные стандарты и нормы – сначала для Франции, затем для Европы и всемирного применения.

Результатом явился рост финансовых показателей компании, которая стала мировым лидером, утроила торговый оборот и увеличила прибыль в 20 раз. Dubix & de Souza скорректировала свое место на рынке в пользу медицинских учреждений и близких к ним сегментам, заняла 50% рынка по химчисткам; 80% рынка по медучреждениям и 80% – по домам престарелых, отказавшись от поставок СМ гостиницам, ресторанам и др. [4].

Отметим, что, занимаясь внедрением know-how, его, как такового, компания не имела: быть абсолютным инноватором удовольствие дорогое, Dubix & de Souza оно было не по плечу. Поэтому технология управления стиркой была позаимствована у Miele, этапность процесса – взята из опыта сельскохозяйственных фирм, программа автоматизации – у архитектурно-строительных компаний; да и сама идея двухкамерной СМ с отдельными входами – у немецкой корпорации, которая к тому времени ушла с рынка; методика финансирования, аренды и внедрения оборудования – у Caterpillar и Rank Xerox. Разработка стандартов базировалась на традиционном подходе, и лишь программы обучения и консалтинговой поддержки, программы финансовых расчетов и моделирования были интеллектуальной собственностью Dubix & de Souza. Однако в юридическом отношении все это было выверено и сформулировано настолько четко, что новизну предложения не оспаривал никто.

Задача ГРИЗ, таким образом, может состоять не только в создании и внедрении собственного know-how, но и в развитии и практическом использовании фрагментов других знаний – в интересах их эффективного рыночного применения, то есть с извлечением максимальной вы-

годы. Заключительным ударом по конкурентам является разработка новых стандартов и норм – для чего компания-инноватор должна иметь своих представителей в мировых, европейских и национальных органах стандартизации, что для России пока что фантастика, но для многих зарубежных производителей – задача вполне реальная. Пример Dubix & de Souza показывает, как тщательно и продуманно должны применяться ИТ в интересах ГРИЗ, если компания с их помощью хочет добиться лидерства хотя бы на узком сегменте мирового рынка.

Препоны и рифы цифровизации

Успех ЦЭ не гарантирован сам по себе мировым постиндустриальным прогрессом, путь этот не обозначен ковровой дорожкой и не усыпан цветами. Радикально новыми возможностями по отношению к потребностям человека ЦЭ не обладает: простым людям, как и тысячи лет назад, необходимы пища, одежда, кров плюс духовные, эстетические и другие запросы, для удовлетворения которых нужна производственная среда, то есть реальный бизнес. Но позиция хозяев глобальной системы ГРИЗ в рамках ЦЭ чрезвычайно привлекательна: распоряжаясь знаниями и технологиями Society 5.0, эти ЛПР получают возможность контролировать по сути дела жизнь всего мирового сообщества.

Будут ли они действовать в интересах каждого человека или ограничатся собственными интересами – вопрос не праздный. Ведь ясное дело, что производить компьютерные программы, например, для продажи полезных ископаемых, нефти и газа на рынке, гораздо выгоднее, чем добывать сырьевые продукты в поте лица и с риском для жизни. Хотя боссы и клерки в офисах корпораций по экономической эффективности и безопасности своего труда, не говоря уже об условиях жизни, и так несоизмеримо выше тружеников ближневосточных пустынь или арктического шельфа.

Модель заказчиков проекта ЦЭ, таким образом, понятна: в свое время пропаганду опасности озоновых дыр в атмосфере Земли подобным образом инициировала DuPont, заинтересованная в использовании своих бесфреоновых технологий при производстве холодильников. На руку им и финансовый тренд, связанный с тем, что «мировые деньги» в электронном виде все больше играют информационную роль и могут быть не обеспечены продуктами, товарами и услугами. По темпам роста объем этих денег в 30 раз превышает прирост населения Земли, хотя, в свою

очередь, в 50 и 500 раз уступает объему производимой и хранимой мировой информации.

Неслучайно длительность online-сделки сегодня сокращается до секунд и, во-первых, выходит за пределы физиологических возможностей человека: не только взвешивать альтернативы, оценивать риски, подписывать чеки и т.п., а даже просто медлить и размышлять о чем-либо ЛПР становится некогда. Во-вторых, отрываясь от золотого содержания и материального обеспечения, избавляясь от ассигнаций и монет, валюты переходят из наличной реальной в виртуальную криптографическую среду. Управляя этой средой через ГРИЗ, идеологи ЦЭ рассчитывают черпать ресурсы и блага буквально из воздуха – что, по мнению ряда экспертов в сети Internet, напоминает бизнес-процессы конкистадоров, которые «расплачивались за золотой песок, пряности и рабов стеклянными бусами». А тем, кому не понравится такой бартер, придется выживать под санкциями и «томагавками».

Существуют здесь, на наш взгляд, и достаточно важные образовательные проблемы. Специалисты в сфере ИТ обычно несведущи в области ИКТ, и наоборот: связисты имеют смутное представление о таких современных ИТ, как интеллектуальные информационные системы; средства поддержки принятия решений (СППР); экспертные системы – в том числе продукты, реализующие СИМ по МДМ для квазиоптимального управления нерелефторными СС [5-6; 8].

Отдельного анализа заслуживают эффективность и безопасность оцифрованных бизнес-процессов – с учетом сокращения трудовых ресурсов, сопровождающего автоматизацию, а также инновационных перспектив. Авторы разделяют точку зрения тех ЛПР, кто полагает, что дискуссии о создании ЦЭ – это в первую очередь повод и весомый шанс привлечь внимание общества к необходимости внедрения цифровых ИКТ посредством ИТ в новые производственные технологии (см. рисунок 1). Актуальность преобразования бизнеса, а также готовность не только зрелых ЛПР, но и аспирантов и студентов – будущих магистров и бакалавров к выполнению такого рода проектов, можно проиллюстрировать примерами из нашей преподавательской практики.

Социально-значимые учебные проекты

Результатом исследований, выполненных учеными ПГУТИ в 2005-2016 г.г. с привлечением производителей, является трехтомная монография «Новые информационные техноло-

гии: подготовка кадров и обучение персонала», где рассмотрены вопросы управления бизнес-процессами предприятий связи с применением реинжиниринга [3], СИМ по МДМ [4] и интеллектуальных СППР [5]. Следует отметить, что свой вклад в подготовку этих книг внесли студенты ПГУТИ, в том числе заочной формы обучения, представившие материал в виде выпускных квалификационных работ (ВКР). Поскольку этот процесс продолжается до сих пор, ограничимся примерами двух последних лет, не вошедшими в [3-5].

Студентка факультета заочного обучения Н. Долгова в 2016-17 г.г. подготовила и защитила ВКР бакалавра на тему «Реинжиниринг бизнес-процесса оздоровления инвалидов на базе санатория «Сергиевские минеральные воды» [1]. Спинальное отделение санатория, организованное осенью 1947 г. на базе госпиталя для фронтовиков, располагается в специализированном здании, где комплексно реабилитируют пациентов с последствиями травм спинного и головного мозга и такими осложнениями, как трофическая язва, обширные пролежни, остеомиелиты и нарушение функций тазовых органов, в среднем до 2 тыс. человек в год. Тяжело больные люди едут в Самару со всей России: из медпунктов железнодорожного вокзала и аэропорта для них организован трансферт.

В то же время СППР для их ежегодного пребывания в санатории долгое время вызывала нарекания: обмен письмами и телеграммами, телефонные переговоры при согласовании индивидуальных графиков требовали затрат временных и финансовых ресурсов, нервировали малоподвижных людей – прикованных к постели, пользующихся колясками и костылями. Автором ВКР был предложен реинжиниринг процесса обслуживания инвалидов: от заказа путевки и проездных документов до оформления отчета, и рекомендаций лечащему врачу по месту жительства, с формированием баз данных и системы электронного документооборота через сеть Internet. Принятый местной администрации проект не был, однако, востребован на более высоком уровне – поскольку не связан ни с телемедициной, ни с приобретением дорогостоящего оборудования в рамках ЦЭ.

Магистрант М. Фролова в 2017 г. защитила ВКР «Система поддержки управленческих решений с применением функционала ожидаемой полезности», где впервые было предложено использовать данный функционал (далее ФОП) в качестве критерия выбора квазиоптимальных

решений при управлении СС с использованием СИМ по МДМ. Максимально простой по начальной схеме: «предполагаемые доходы минус планируемые расходы», ФОП в развернутом виде оказался достаточно сложным, объективным и универсальным показателем эффективности бизнеса [9-10]. Разработанные СИМ-модели позволили успешно использовать его при решении социально-значимых задач, связанных с оценкой электромагнитной безопасности размещения радиосредств в городской среде [11], экономической безопасности при разработке систем активной защиты конфиденциальной информации [12], эколого-эргономической безопасности проекта «Интернет вещей» [13] и др.

Магистрант К. Ваулина в 2017 г. на примере бизнес-процесса «Предоставление государственных и муниципальных услуг Многофункциональным Центром регионального уровня» теоретически и экспериментально исследовала возможность дифференциации переменных моделирования на основные и вспомогательные с целью совершенствования методологии СИМ [14-15]. Ей удалось показать, что использование «принципа безразличия» Лапласа при определении исходных данных для вспомогательных переменных ведет к сокращению продолжительности предварительного статистического исследования объекта и радикальному улучшению оперативности моделирования в среде AnyLogic без ущерба для достоверности его результатов, что представляется важным преимуществом МДМ над традиционной методикой проведения СИМ.

Магистрантом Н. Кулевой в 2018 г. разработана и реализована СИМ-модель бизнес-процесса «Строительство быстровозводимых зданий» в интересах промышленности сборных конструкций для модульных сооружений – производственных, административных, жилых. Социальная значимость проекта обусловлена тем, что возведение таких объектов связано с ускорением бизнес-процесса на 50-60% по сравнению с традиционным строительством, улучшением условий окупаемости вложенных средств, применением эффективных и экономичных инженерных методов при соответствии конечного продукта требованиям рынка. Однако технологии быстрого строительства включают жесткие временные ограничения и многоступенчатый контроль качества всех технологических действий – ввиду чего бизнес-процесс характеризуется значительной сложностью при высокой организационной фрагментарности и негативном влиянии целого ряда случайных

факторов – преодолению которых способствует применение СИМ по МДМ. Приведенные примеры демонстрируют правоту Н.Н. Моисеева, который в свое время предложил сочетать разработку новых методов и средств проведения

СИМ с расширением круга задач, связанных с его практическим применением: в том числе, повторим, силами самых молодых по возрасту и опыту специалистов в рамках создаваемой с их участием ЦЭ.

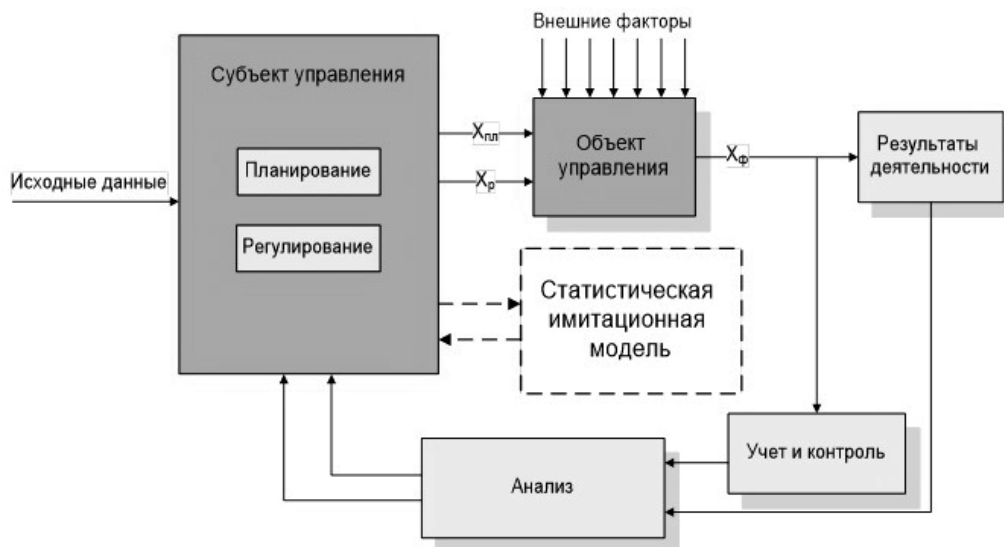


Рисунок 2. Использование СИМ-модели по МДМ в контуре планирования СУ

Научные проекты в области СИМ по МДМ

Исследования по данной тематике проводит научная школа «Имитационное моделирование и управление сложными процессами в организационно-технических и социально-экономических системах», созданная Российской Академией Естественных Наук на базе кафедры «Прикладная информатика» ПГУТИ. Идеологию школы иллюстрирует схема СУ корпорации, приведенная на рисунке 2, где в контур планирования включена СИМ-модель по МДМ, а также введены обозначения: $X_{пл}$ – вектор плановых воздействий на объект управления; $X_{ф}$ – вектор фактических результатов бизнес-процесса; $X_{р}$ – вектор регулирующих воздействий [4; 6; 8 и др.].

На основе данной схемы в 2010 г. аспирант Ю. Трошин предложил метод формализации бизнес-процесса оплаты услуг связи в крупной региональной ИКТ-компании и впервые разработал СУ данным бизнес-процессом, где время на принятие управленческих решений (включая работу СИМ-модели и анализ эффективности решения) сократилось более чем в семь раз [16]. Это явилось практическим подтверждением идеи использовать СИМ по МДМ для снижения неопределенности выбора действий

ЛПР при управлении СС нерелефторного типа [6; 8; 17].

В 2015 г. аспирант К. Агрова разработала и исследовала эффективность применения СИМ-модели стратегического рыночного управления компанией – участником электронных торговых площадок, которую можно считать пионерской в плане формализации бизнеса как одного из реальных путей к цифровой экономике [18]. Программный продукт прошел государственную регистрацию и нашел применение в СППР реальной корпорации.

Важное научное направление связано с разработкой СУ взаимоотношениями с клиентами корпорации: Customer Relationship Management (CRM-Systems, другое название – систем формирования услуг по заказу клиента), под руководством М.А. Богомоловой. Роль CRM-Systems в создаваемой отечественной ЦЭ переоценить трудно, поскольку среди ИТ, показанных на рисунке 1, по критерию практической эффективности они занимают особое место. Обширную библиографию в области применения ИТ в интересах ЦЭ составляют труды представителей научной школы Богдановой Е.А., Дязитдиновой А.Р., Ждановой Е.И., Коныжевой Н.В., Халимова Р.Р. Качественно новый этап ее деятельности связан с переводом на русский язык фундамен-

тального труда основоположника субъективных теорий вероятностей и ожидаемой полезности Л. Дж. Сэвиджа «The Foundations of Statistics» (N.Y.: Wiley, 1954, 310 p.), который осуществляют аспирант И. Шаталов и магистрант К. Юкласов при поддержке профессора В.А. Абрамова. Помимо образовательного значения, данный проект способствует формированию математической и философской основы для развития и совершенствования СИМ по МДМ.

К сожалению, деятельность упомянутой научной школы продолжается аспирантами и магистрантами ПГУТИ целиком на инициативной основе – по аналогии с разработками [3-6], даже типографские расходы по публикации которых были оплачены внешними спонсорами. Что, впрочем, неудивительно и соответствует мировой практике: ведь, например, объем частных пожертвований университетам США в 2015 г. составил \$ 40,3 млрд. Не комментируя эти цифры, в качестве конкретного примера кратко представим результаты СИМ по МДМ на базе AnyLogic деятельности отдела менеджмента качества (ОМК) крупной региональной ИТ-компании [19].

Моделирование деятельности ОмК корпорации

Содержательная модель, формализация бизнес-процесса и постановка задачи СИМ базируются на концепции дискретно-событийного метода, динамика бизнес-процесса соответствует последовательности следующих операций: разработка или актуализация нормативного документа; размещение документа на этапах проверки рецензирования и согласования; подготовка запроса об утверждении; утверждение документа; публикация – над сущностями, которые представляют собой заявки, поступающие от сотрудников компании. Конечная цель состоит в подборе числа сотрудников ОмК таким образом, чтобы, во-первых, из заявок не образовывалась очередь, а во-вторых, затраты компании на оплату труда были минимальными.

Бизнес-процесс начинается с подачи в ОмК через информационную систему управления заявок от сотрудников на разработку, пересмотр или редакцию нормативных документов, которыми располагает ИТ-компания. При получении заявки специалист ОмК вносит требуемые изменения в документ – после чего он размещается на специальном сайте в Intra-net, где предусмотрена возможность его обсуждения и со-

гласования. В случае успешного согласования документ отправляется на утверждение и затем публикуется. На бизнес-процесс оказывает влияние целый ряд случайных факторов: вероятность отправки на дополнительное согласование; перечень и объемы ресурсов, необходимых для разработки, пересмотра, редакции документа и т.д. На момент проведения СИМ поток заявок достиг такого уровня, что ОмК зачастую не успевал обслуживать их в отведенные сроки и руководством рассматривались два способа решить возникшую проблему.

1. Прием на работу новых специалистов – полагая, что если заявки будут распределены на большее число сотрудников ОмК, то очередей не будет. Однако при анализе ситуации выяснилось, что при обработке заявки в ОмК треть времени тратится не на процессную, а на рутинную часть работы – связанную с размещением документов на разных этапах согласования, отправку писем, заполнением статистики и т.п. Поэтому отдавать предпочтение этому способу нельзя.

2. Разделение функций сотрудников ОмК и прием на работу помощников специалистов – с тем, чтобы в основном они выполняли рутинную, но также необходимую и незаменимую часть общей работы.

Схема моделирующего алгоритма деятельности ОмК содержит объекты процессного моделирования библиотеки Enterprise Library среды AnyLogic, в том числе объекты для определения потока процесса: Source (источник), Sink (выход из системы), Delay (задержка), Queue (очередь), Service (обслуживание), Select Output (выбор пути) и т.д., а также для задействованных в бизнес-процессе ресурсов. Период моделирования задается в месяцах, причем с помощью настройки расписания учитываются только рабочие дни недели.

Поскольку в ОмК от сотрудников компании поступают заявки четырех типов: на разработку нового документа, редакцию, пересмотр и размещение существующего документа, исходные данные, характеризующие входной поток СМО, могут быть получены на основании отчета компании за годовой период по всем разработанным, пересмотренным, отредактированным и размещенным документам с учетом затраченного на них времени.

Главное меню представляет собой иерархическую диалоговую систему доступа к функциям системы. Разработанная СИМ-модель позволяет «проигрывать» любые перспективные

комбинации между имеющимися и планируемыми ресурсами ОМК с учетом видов и объема выполняемых работ, выходными данными являются среднее время обработки и процент

выполненных заявок, процент отмененных заявок и процент заявок, находящихся в работе, а также затраты на оплату труда специалистов и помощников специалистов.

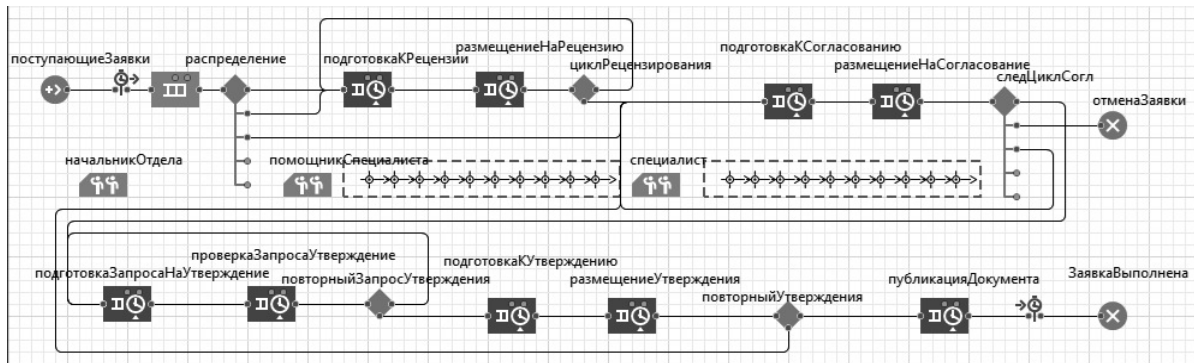


Рисунок 3. Схема моделирующего алгоритма с использованием объектов библиотеки Enterprise Library

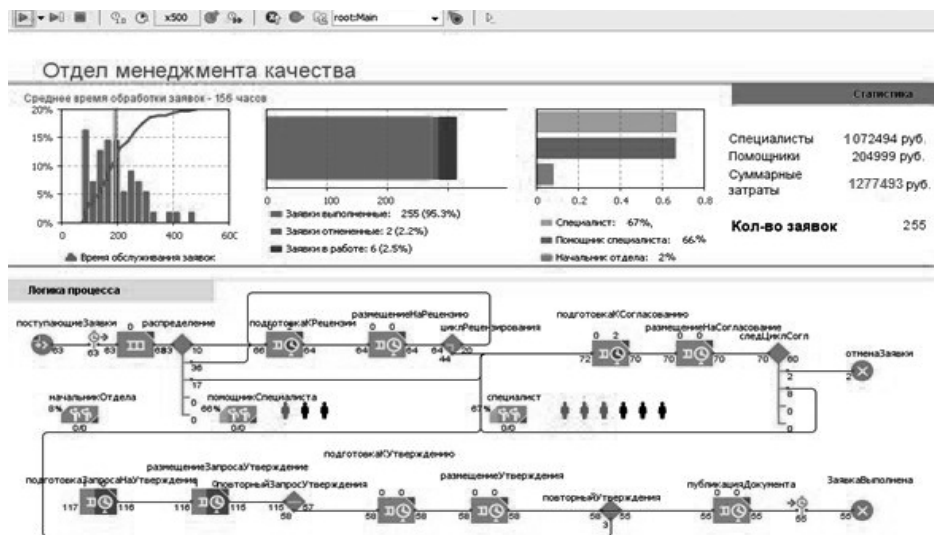


Рисунок 4. Результаты СИМ по МДМ

Анализ результатов СИМ по МДМ (см. рисунок 4) показывает, что целевая функция «Затраты на оплату труда» достигает минимума при принятии в штат трех новых сотрудников: помощников специалиста ОМК, с поручением им работ по редакции документов и размещению документов на разных этапах согласования. Отсюда следует предлагаемое решение: разделить функции сотрудников ОМК и принять на работу трех помощников специалистов. Опыт разработки СИМ-модели деятельности ОМК показывает, что использование отечественной среды AnyLogic позволяет наглядно и эффективно решать достаточно важные вопросы, связанные с управлением бизнес-процессами ИТ-корпорации.

Лифтинг знаний в системе ГРИЗ

С научной точки зрения, целесообразно сформулировать один простой вопрос: чего при имеющихся ресурсах – природных, трудовых, интеллектуальных, творческих – России не хватает, чтобы с уверенностью смотреть в будущее? И дать ответ: эффективно действующей системы ГРИЗ, вариантами которой располагают сегодня несравненно более бедные во всех отношениях зарубежные социально-экономические СС [1].

Схему взаимодействия знаний в системе ГРИЗ иллюстрирует рисунок 5: множество аксиологических знаний при верификации образует подмножество инновационных знаний

(ИВЗ), которое представляет собой наиболее ценную для ЛПР часть знаний, успешно проходящих верификацию, что отличает их от ложных (шарлатанских) знаний [20].

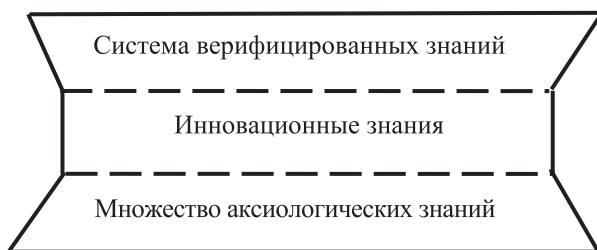


Рисунок 5. Схема взаимодействия знаний в системе ГРИЗ

Поскольку максимальную коммерческую стоимость имеют ИВЗ, для ЛПР сегодня жизненно важно искать и расширять точки соприкосновения между аксиологическими и верифицированными знаниями. Любые источники ИВЗ представляют значительный интерес, диапазон гипотез об их происхождении как никогда широк: от инопланетного адреса передовых технологий до рассекреченных сведений о разведанных достижениях конкурентов.

Однако основными источниками при эволюционном развитии представляются крупницы ИВЗ, с огромным трудом добываемые энтузи-

астами и подвижниками, преданными науке, а также открытия и рывки, возникающие при революционных взрывах в процессе познания. Идет ли при этом движение по заранее определенной кривой или сам этот маршрут складывается из множества интуитивных стохастических действий – сказать трудно.

Добавим, что лифтинг знаний «снизу-вверх» на рисунке 5 имеет для рынка важное практическое значение, поскольку на инновационном уровне он связан с получением сверхприбылей, разом оправдывающих все затраты и любые другие действия конкурирующих между собой игроков рынка – как законные, так и не очень [20-21]. Стартовой площадкой для ЦЭ в нашей стране стала кризисная ОМС, дополненная западными санкциями, на чем следует остановиться подробнее.

Угрозы СУ в условиях кризиса и демократизация знаний

Традиционной иерархической моделью СС является многоуровневая пирамида, где верхний (топовый) I уровень соответствует элите, рассматриваемой СС: властной, финансовой, интеллектуальной, а нижний III уровень – ее элементарным функционерам: избирателям, потребителям, клиентам, студентам и т.п. (см. рисунок 6а).

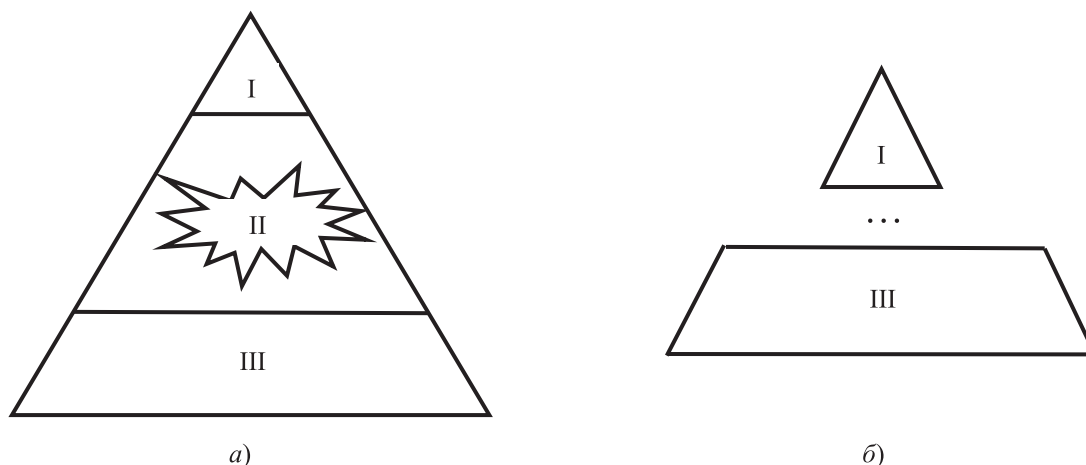


Рисунок 6. Деформация иерархической структуры корпорации
а) модель реформируемой СС; б) модель нежизнеспособной СС

Кризис наносит удар одновременно по всем трем уровням (слоям, эшелонам) иерархической пирамиды [22], однако если элита стремится переложить максимум проблем на промежуточный II уровень: менеджеров среднего звена, малый бизнес, рядовых преподавателей и сотрудников вузов, дискредитируя и резко сокращая их количество, то в результате это-

го образуется негативный разрыв между I и III уровнями (см. рисунок 6б). Поскольку уровень II в пирамиде фактически «исчезает», корпорация с такой структурой становится нежизнеспособной. Это объясняется тем, что на рисунке 6б для функционеров III уровня доступ к топ-уровню невозможен, а малочисленная элита I уровня неспособна управлять ими без

посторонней помощи – в результате верхи не могут руководить по-старому, низы не могут жить по-старому, то есть возникает проблема революционного «майдаана».

Разрешить эту проблему можно, понижая уровень ЛПР и приводя в соответствие множества руководителей и руководимых ими элементов путем дробления пирамиды на подсистемы исходной СС (менеджеров I уровня на рисунке 6б заменяют более многочисленными и менее требовательными менеджеры II уровня). Архитекторы данного процесса уповают на то, что со временем указанные подсистемы образуют новые одноуровневые СС плоского гетерархического типа, руководить которыми им будет проще и экономически выгоднее [22].

Однако, рассматривая трансформацию и лифтинг знаний в схеме на рисунке 5 как часть взаимодействия объективного и субъективного начал в работе СУ, мы приходим к выводу о существенном влиянии на них численности вовлеченных ЛПР именно II уровня. В жестко централизованной СУ негативно воздействовать на ЛПР способны в первую очередь субъективные факторы и личные аксиологические знания, тогда как по мере роста их числа коллективные действия все больше будут определять объективные факторы и верифицированные знания, доступные им.

Этот тезис не представляется истиной в последней инстанции, поскольку граница между знаниями во многом условна, а отношение ЛПР к ИВЗ часто вообще не поддается прогнозированию. В то же время очевидна неизбежность повышения средних показателей образованности, здоровья и культуры общества в целом – если речь идет о долгосрочных планах его стратегического развития, а не о достижении оперативно-тактических целей.

Поэтому поддержка силами и средствами ЦЭ лечебных, научных и образовательных учреждений II уровня сегодня не менее важна, чем забота о массовом III уровне и даже выращивание звезд мирового I уровня. Заинтересованным представителям финансово-промышленных сфер следовало бы обратить внимание не на примеры инновационного благополучия зарубежных социально-экономических СС, которые им так хотелось бы повторить в России, а на предложения отечественных ЛПР – как практиков, так и теоретиков, хранителей верифицированных и собственников уникальных аксиологических знаний. Их работу в области ГРИЗ необходимо стимулировать именно на

критичном II уровне – иначе до успеха на III уровне дело не дойдет, не может прийти по объективным научно-технологическим причинам.

Опыт показывает, что путем эксплуатации субъективных факторов ЛПР I уровня нередко удается преодолеть влияние объективных факторов – правда, на короткое время. Аналогичным образом шарлатанские знания могут быть признаны большинством ЛПР в качестве ИВЗ – что представляет собой внутреннюю угрозу безопасности корпорации [20-21]. Последствия таких заблуждений обычно удается преодолеть за счет перенапряжения выживших участников экспериментов.

Заключение

Материальные и интеллектуальные резервы, которыми обладает Россия, а также понимание принципов развития нерелекторных СС социально-экономического типа и моделирование их поведения в интересах создания цифровых секторов в сырьевой и производственной экономике позволяют с оптимизмом смотреть в будущее нашей страны [1]. Проект ЦЭ в России стартовал, база для его реализации в виде теоретических разработок во многом уже сформирована. Применение в бизнес-процессах новейших ИКТ целесообразно дополнить внедрением ИТ реинжиниринга, CRM-Systems и СППР, СИМ по МДМ и т.п. В учебных планах и программах вузов следует отразить вопросы, связанные с цифровизацией бизнес-процессов. Проводимые отраслевой наукой приоритетные исследования в данной области необходимо поддерживать и активизировать для оперативного использования полученных результатов.

Литература

1. Димов Э.М., Маслов О.Н. Цифровизация бизнеса: с чего начинать? // Электросвязь. – [Электронный ресурс]. – 13 с. // URL: <https://elsv.ru/24697-2/> (д.о. 10.12.2018)
2. Труды XX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара, сентябрь, 2018. – Самара: ИПУСС РАН – ОФОРТ, 2018. – 576 с.
3. Димов Э.М., Маслов О.Н., Скворцов А.Б. Новые информационные технологии: подготовка кадров и обучение персонала. Ч. 1. Реинжиниринг и управление бизнес-процессами в инфокоммуникациях – М.: ИРИАС, 2006. – 386 с.

4. Димов Э.М., Маслов О.Н., Пчеляков С.Н., Скворцов А.Б. Новые информационные технологии: подготовка кадров и обучение персонала. Ч. 2. Имитационное моделирование и управление бизнес-процессами в инфокоммуникациях – Самара: СНЦ РАН, 2008. – 350 с.
5. Димов Э.М., Диязитдинова А.Р., Маслов О.Н., Новаковский В.Ф. Новые информационные технологии: подготовка кадров и обучение персонала. Ч. 3. Интеллектуальные информационные системы и управление бизнес-процессами в инфокоммуникациях – Самара: СНЦ РАН, 2017. – 440 с.
6. Ануфриев Д.П., Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В. Статистическое имитационное моделирование и управление бизнес-процессами в социально-экономических системах – Астрахань: Астраханский инженерно-строительный институт, 2015. – 366 с.
7. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем – М.: Наука, 1975. – 528 с.
8. Димов Э.М., Маслов О.Н. Алгоритмизация квазиоптимального управления нерелекторными системами с применением статистического имитационного моделирования // Инфокоммуникационные технологии. – 2017. – Т.15. – №3. – С. 205-217. DOI: 10.18469/ikt.2017.15.3.01.
9. Маслов О.Н., Фролова М.А. Функционал ожидаемой полезности: принципы моделирования и практического применения // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – Т.13, – №3. – С. 291-297. DOI: 10.18469/ikt.2015.13.3.09.
10. Маслов О.Н., Фролова М.А. Функционал ожидаемой полезности в задачах управления сложными системами организационно-технического типа // Инфокоммуникационные технологии. – 2016. – Т.14. – №2. – С. 168-178. DOI: 10.18469/ikt.2016.14.2.09.
11. Маслов О.Н., Фролова М.А. Повышение эффективности функционирования системы радиоконтроля на основе риск-ориентированного подхода // Электросвязь. – 2017. – №11. – С. 36-42.
12. Маслов О.Н., Фролова М.А. Анализ проекта системы технической защиты информации с применением функционала ожидаемой полезности // Защита информации. Инсайд. – 2017. – №2. – С. 68-72.
13. Маслов О.Н., Фролова М.А. Интернет вещей: электромагнитная безопасность пикосотовых технологий // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2017. – №11. – С. 18-29.
14. Ваулина К.В., Маслов О.Н. Влияние неопределенности исходных данных на эффективность статистического имитационного моделирования нерелекторной системы. Часть 1. Тестовая СИМ-модель // Инфо-коммуникационные технологии. – 2016. – Т.14. – №4. – С. 390-405. DOI: 10.18469/ikt.2016.14.4.07.
15. Ваулина К.В., Маслов О.Н. Влияние неопределенности исходных данных на эффективность статистического имитационного моделирования нерелекторной системы. Часть 2. Дифференциация стохастических факторов по влиянию на эффективность применения СИМ-модели // Инфокоммуникационные технологии. – 2017. – Т.15. – №1. – С. 58-70. DOI: 10.18469/ikt.2017.15.1.08.
16. Трошин Ю.В. Совершенствование управления и механизмов принятия решений в инфокоммуникационной компании на основе имитационного моделирования. Дисс. к.т.н. Самара: ПГУТИ, 2010. – 174 с.
17. Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В. Снижение неопределенности выбора управленческих решений с помощью метода статистического имитационного моделирования // Информационные технологии. – 2014. – №6. – С. 51-57.
18. Агрова К.Н. Совершенствование процесса стратегического рыночного управления компанией – участником электронных торговых площадок. Дисс. к.т.н. Самара: ПГУТИ, 2015. – 183 с.
19. Димов Э.М., Маслов О.Н., Сухова С.В. Имитационное моделирование деятельности отдела менеджмента качества на платформе Any Logic. // Информационные технологии. – 2017. – Т.23. – №3. – С. 172-177.
20. Маслов О.Н. Безопасность корпорации: моделирование и прогнозирование внутренних угроз методом риска – Самара: ПГУТИ – АЭРОПРИНТ, 2013. – 170 с.
21. Ярочкин В.И., Бузанова Я.В. Корпоративная разведка – М.: «Ось-89», 2005. – 304 с.
22. Маслов О.Н. Системный кризис корпорации: переход от структурной иерархической модели к гетерархической // Материалы Международной НПК «Актуальные проблемы информатизации науки и производства. Т.1. – Тольятти, 2016. – С. 86-92.

Получено 15.12.2018

Димов Эдуард Михайлович, д.т.н., профессор Кафедры прикладной информатики (ПИ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-906-340-37-41. E-mail: e.m.dimov@gmail.com

Маслов Олег Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой ПИ ПГУТИ. Тел. 8-917-950-05-13. E-mail: maslov@psati.ru

INFORMATION TECHNOLOGIES OF THE DIGITAL ECONOMY: EDUCATIONAL AND RESEARCH ASPECTS

Dimov Ad.M, Maslov O.N.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: e.m.dimov@gmail.com

The educational and research aspects of the formation of the digital economy (DE) by using modern info-communication (ICT) and information (IT) technologies are considered. The role of ITs, which they perform when creating DE by introducing new ICTs into production technologies and expanding the concept of Industry 4.0 to Society 5.0, is noted. The problem of creating a national system of generation and implementation of innovative knowledge, without which the formation of DE in Russia is impossible, is discussed. Research results in the field of DE, which are conducted by the scientific school "Imitation simulation and management of complex processes in organizational-technical and socio-economic systems", created by the Russian Academy of Natural Sciences on the basis of Applied Informatics Department of PSUTI, are presented. The importance of complex approach to implantation of new IT, ICT and production technologies is illustrated with specific examples. Educational and research projects in the field of DE, performed by undergraduate and graduate students of PSUTI in 2010-2018, are presented. Difficulties of transition to Society 5.0 in view of crisis threats and anti-Russian sanctions are noted. The necessity of lifting and democratization of knowledge in the interests of increasing the efficiency of corporate management during the formation of DE has been shown.

Keywords: *Industry 4.0 and Society 5.0 concepts; digital economy; information and infocommunication technologies; innovative knowledge generation and implementation system; educational-research and scientific projects of PSUTI; crisis threats and anti-Russian sanctions; lifting and democratization of knowledge*

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.16

Dimov Eduard Mikhailovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Professor of the Department of Applied Informatics, Doctor of Technical Science, Professor. Tel. +79063403741. E-mail: e.m.dimov@gmail.com

Maslov Oleg Nikolayevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; the Head of Department of Applied Informatics, Doctor of Technical Science, Professor. Tel. +79023710624. E-mail: maslov@psati.ru

References

1. Dimov E.M., Maslov O.N. Cifrovizaciya biznesa: s chego nachinat'? *Elektrosvyaz*. Available at: <https://elsv.ru/24697-2/> (accessed 10.12.2018).
2. Trudy XX Mezhdunarodnoj konferencii «Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnyh sistemah» (Proc. of XX Int. Conf. «Control and simulation problems in complex systems»). Samara, IPUSS RAN – OFORT Publ., 2018. 576 p.
3. Dimov E.M., Maslov O.N., Skvortsov A.B. *Novyye informatsionnyye tekhnologii: podgotovka kadrov i obuchenije personala. Ch. 1. Reinzhiniring i upravleniye biznes-protsessami v infokommunikatsiyakh* [New information technologies: training and personnel training. Part 1. Reengineering and management of business processes in infocommunications]. Moscow, IRIAS Publ., 2006. 386 p.
4. Dimov E.M., Maslov O.N., Pcheljakov S.N., Skvorcov A.B. *Novye informatsionnyye tekhnologii: podgotovka kadrov i obuchenie personala. Ch. 2. Imitatsionnoe modelirovanie i upravlenie biznes-processami v*

- infokommunikacijah* [New information technologies: personnel training. P.2. Simulation modelling and management of business processes in infocommunications]. Samara, SNC RAN Publ., 2008, 350 p.
5. Dimov E.M., Diyazitdinova A.R., Maslov O.N., Novakovskiy V.F. *Novyye informatsionnyye tekhnologii: podgotovka kadrov i obucheniye personala. Ch. 3. Intellekturnyye informatsionnyye sistemy i upravleniye biznes-protsessami v infokommunikatsiyakh* [New information technologies: training and personnel training. Part 3. Intelligent information systems and business process management in infocommunications]. Samara, SNC RAN Publ., 2017. 440 p.
 6. Anufriev D.P., Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Y.V. *Statisticheskoe imitacionnoe modelirovaniye i upravleniye biznes-protsessami v social'no-ehkonomicheskikh sistemah* [Statistical simulation modeling and management of business processes in socio-economic systems]. Astrahan, As-trISMI Publ. 2015. 365 p.
 7. Moiseyev N.N. *Elementy teorii optimalnykh system* [Elements of the theory of optimal systems]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 528 p.
 8. Dimov E.M., Maslov O.N. *Algoritmizatsiya kvazioptimalnogo upravleniya nereflektornymi sistemami s primeneniyyem statisticheskogo imitatsionnogo modelirovaniya* [Algorithmization of non-reflective systems quasi-optimal control using statistical simulation modelling]. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii*, 2017, vol. 15, no. 3, pp. 205-217. DOI: 10.18469/ikt.2017.15.3.01.
 9. Maslov O.N., Frolova M.A. *Funkcional ozhidaemoj poleznosti: principy modelirovaniya i prakticheskogo primeneniya* [Functional of expected utility: principles of modeling and application]. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii*, vol. 13, no. 3, 2015, pp. 291-297. DOI: 10.18469/ikt.2015.13.3.09.
 10. Maslov O.N., Frolova M.A. *Funkcional ozhidaemoj poleznosti v zadachah upravleniya slozhnyimi sistemami organizatsionno-tekhnicheskogo tipa* [Functional of expected utility: principles of modeling and application]. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii*, 2016, vol. 14, no. 2, pp. 168-178. DOI: 10.18469/ikt.2016.14.2.09.
 11. Maslov O.N., Frolova M.A. *Povysheniye ehffektivnosti funkcionirovaniya sistemy radiokontrolya na osnove risk-orientirovannogo podhoda* [Improving the efficiency of functioning of the radio monitoring system on the basis of the risk-based approach]. *Elektrosvyaz*, 2017, no. 11, pp. 36-42.
 12. Maslov O.N., Frolova M.A. *Analiz proekta sistemy tekhnicheskoy zashchity informatsii s primeneniyyem funktsionala ozhidaemoj poleznosti* [Analysis of the project of the system of technical protection of information using the expected utility functionality]. *Zashchita informatsii. Insajd*, 2017, no. 2, pp. 68-72.
 13. Maslov O.N., Frolova M.A. *Internet veshchej: ehlektromagnitnaya bezopasnost' pikosotovykh tekhnologij* [The Internet of Things: Electromagnetic Security for Pico Cell Technologies]. *Bio-medicinskaya radioelektronika*, 2017, no. 11, pp. 18-29.
 14. Vaulina K.V., Maslov O.N. *Vliyanie neopredelennosti iskhodnykh dannykh na ehffektivnost' statisticheskogo imitatsionnogo modelirovaniya nereflektornoj sistemy. Ch. 1. Testovaya SIM-model'* [Initial data uncertainty influence on effectiveness of non-reflective system statistical simulation. Part 1. Test statistical simulation model]. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii*, 2016, vol. 14, no. 4, pp. 390-405. DOI: 10.18469/ikt.2016.14.4.07.
 15. Vaulina K.V., Maslov O.N. *Vliyanie neopredelennosti iskhodnykh dannykh na ehffektivnost' statisticheskogo imitatsionnogo modelirovaniya nereflektornoj sistemy. Ch. 2. Differentsiatsiya stohasticheskikh faktorov po vliyaniyu na ehffektivnost' primeneniya SIM-modeli* [Initial data uncertainty influence on effectiveness of non-reflective system statistical simulation. Part 2. Differentiation of stochastic factors based on the effectiveness of sim-model application]. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii*, 2017, vol. 15, no. 1, pp. 58-70. DOI: 10.18469/ikt.2017.15.1.08.
 16. Troshin Yu.V. *Sovershenstvovaniye upravleniya i mekhanizmov prinyatiya reshenij v infokommunikatsionnoy kompanii na osnove imitatsionnogo modelirovaniya* [Improving management and decision-making mechanisms in the information and communication company based on simulation modeling]. Dissert. cand. of technical sciences. Samara, PSUTI, 2010. 174 p.
 17. Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Y.V. *Snizheniye neopredelennosti vybora upravlencheskikh peshenij s pomoshh'yu metoda statisticheskogo imitatsionnogo modelirovaniya* [Reducing Uncertainty in a Choice of Management Decisions Using Statistical Simulation]. *Informatsionnyye tekhnologii*, 2014, no. 6, pp. 51-57.
 18. Agrova K.N. *Sovershenstvovaniye processa strategicheskogo rynochnogo upravleniya kompaniej – uchastnikom ehlektronnykh torgovykh ploshchadok* [Improving the process of strategic market management of the company - the participant of electronic trading platforms]. Dissert. cand. of technical sciences, Samara, PSUTI, 2015. 183 p.

19. Dimov E.M., Maslov O.N., Suhova S.V. Imitacionnoe modelirovanie deyatel'nosti otdela menedzhmenta kachestva na platforme Any Logic [Simulation Activities of the Department of Quality Management Based on the Platform AnyLogic]. *Informacionnye tekhnologii*, 2017, vol. 23, no. 3, pp. 172-177.
20. Maslov O.N. *Bezopasnost' korporacii: modelirovanie i prognozirovanie vnutrennih ugroz metodom riska* [Corporate Security: Modeling and Forecasting Internal Threats with a Risk Method]. Samara, PSUTI – Aeroprint Publ., 2013. 170 p.
21. Yarochkin V.I., Buzanova Ya.V. *Korporativnaya razvedka* [Corporate intelligence]. Moscow, Os-89, 2005. 304 p.
22. Maslov O.N. Sistemnyj krizis korporacii: perekhod ot strukturnoj ierarhicheskoj modeli k geterarhicheskoj [Systemic crisis of a corporation: transition from a structural hierarchical model to a hierarchical one]. *Materialy Mezhdunarodnoj NPK «Aktual'nye problemy informatizacii nauki i proizvodstva»* [Proc. of Int. Conf. «Actual problems of informatization of science and production»]. Tolyatti, 2016, pp. 86-92.

Received 15.12.2018

УДК 004.053: 004.054

ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЙ РЕАНИМАЦИЙ И ИНТЕНСИВНОЙ ТЕРАПИИ

Малахов И.А.,¹ Матвеева Е.А.,² Шук Н.Н.^{1,2}

¹Самарская областная клиническая больница им. В.Д. Серedaвина, Самара, РФ

²Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

В статье рассматриваются проблемы процесса информатизации здравоохранения, связанные с проектированием специализированных медицинских информационных систем. На конкретном примере показаны этапы проектирования информационной системы для отделений реанимации и интенсивной терапии. Рассмотрена специфика деятельности отделения. Определены показатели, оказывающие наибольшее значение на принятие управленческих решений. Определены структура и логика создания модели данных, построение связей в базе данных. Учтены основные нюансы, на которые стоит обращать внимание при разработке информационных систем для подразделений реанимации и интенсивной терапии, для минимизации имеющихся ошибок в проектировании узконаправленных медицинских информационных систем. В статье достаточно подробно рассматривается логика связей таблиц в базе данных, которая является основой построения всей системы.

Ключевые слова: медицинская информационная система, электронная история болезни, анализ медицинских данных, проектирование медицинских баз данных, ошибки проектирования информационных систем

Введение

Вопросы системной информатизации различных сторон деятельности современного общества во многом определяет его эффективность и качество. Применение информационных систем (ИС) в медицине для повышения эффективности процессов – относительно новое направление в российской науке, требующее обширной исследовательской работы. На сегодняшний день уже создано немало алгоритмов, методов, универсальных программных комплексов, ориентированных на всесторонний анализ данных. Но для обеспечения условий их эффективного использования этого недостаточно. Необходимы информационные технологии (ИТ), информационно-аналитические системы, включающие компоненты, обеспечивающие реализацию процессов сбора, хранения, защиты, доступа, анализа и предоставления информации конечному пользователю.

При этом средства анализа должны базироваться как на апробированных статистических, так и на современных интеллектуальных методах и алгоритмах. Проблема создания и грамотного применения таких ИТ и систем приобретает особую значимость для здравоохранения, его научно-практических и лечебных учреждений [1-2; 9].

В настоящее время при разработке медицинских ИС отсутствует системный подход. Администрация больницы и врачи не могут самостоятельно поставить задачу на проектирование и разработку, не понимая возможностей ИТ, структуры данных и логику разработки. Разработчик, в свою очередь, не имея возможности детально изучить организацию работы медицинских подразделений и их взаимодействие, не имея в штатах медицинских экспертов, берет на себя весь процесс постановки задач и на основе этого ведет разработку медицинской информационной систе-

мы, что приводит к недостаточному отражению в системе специфики бизнес-процессов.

В России практически отсутствует школа, которая бы готовила профессионалов высокого уровня в области разработки и внедрения комплексных медицинских ИС, специалистов, по определению работающих на стыке сложнейших наук – медицины, информатики и прикладной математики. Для становления отечественной школы в этой области творческим коллективам необходимо обмениваться наблюдениями и мнениями в разработке программных продуктов, накапливая тем самым специальные знания и формируя потенциально выгодные направления в поиске эффективных решений, связанных с разработкой и внедрением комплексных медицинских ИС [3-4; 9].

В статье отражен опыт проектирования медицинской ИС на примере Отделения реанимации

интенсивной терапии (ОРИТ) №2 Самарской областной клинической больницы им. В.Д. Середавина (далее СОКБ). Имеющиеся наработки построения медицинской ИС для ведения электронной истории болезни могут быть использованы при создании ИС для лечебного заведения в целом.

Характеристика информатизации

объекта

ОРИТ №2 организовано в составе Регионального Сосудистого Центра (РСЦ) на базе СОКБ. С 2010 г. по настоящее время отделение работало на фактически развернутых 12 койках. Деятельность ОРИТ №2 регламентируется приказами Минздрава РФ №919н, №928н, №918н, №931н от 15 ноября 2012 года.

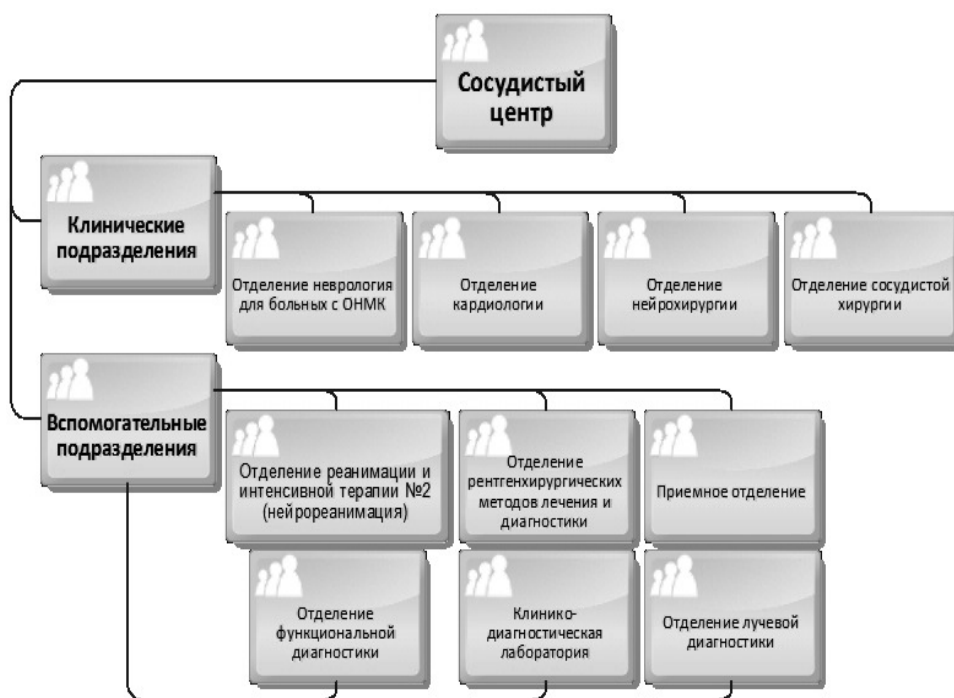


Рисунок 1. Организационная диаграмма: структурные подразделения РСЦ

Структура РСЦ представлена на рисунке 1. В ОРИТ №2 подлежат госпитализации больные со всеми вариантами острых нарушений мозгового кровообращения (ишемический инсульт, геморрагический инсульт, субарахноидальное кровоизлияние, транзиторная ишемическая атака); острым коронарным синдромом (с подъемом и без подъема сегмента ST, острый инфаркт миокарда и нестабильная стенокардия) в первые сутки заболевания, а также ведение больных после неотложных и отсроченных рентгенэндоваскулярных и открытых вмешательств на коронарных артериях.

Принцип работы отделения

Отделение реанимации является вспомогательным отделением и оказывает услуги по реанимации и интенсивной терапии больным, которые закреплены за клиническими отделениями. Кроме того, ОРИТ работает со специалистами клинических отделений.

Врачи анестезиологи-реаниматологи занимаются сбором и обработкой информации, диагностикой, принимают решения по поводу лечения и реализуют данные решения. Бизнес-процесс поступления и убытия пациента (упрощенная схема) представлен на рисунке 2.

Основные показатели, которые надо учитывать в отделении реанимации и интенсивной терапии (по потребностям врачей анестезиологов-реаниматологов для планирования и принятия управленческих решений, для оптимизации расходов и проведение исследовательских работ):

- число больных, прошедших через отделение, структура по патологии, структура по клиническим отделениям, время нахождения больных в отделении реанимации – койко-дни, структура по патологии, по клиническим отделениям и т.п.;

- учет первичных и повторных поступлений в отделение реанимации, откуда больные поступают (приемный покой, палаты клинических отделений, операционные);

- исходы лечения в условиях отделения реанимации, их различное соотношение, смертность, летальность по патологиям, по отделениям;

- учет у больных различных факторов: таких как сахарный диабет, сердечная недостаточность, различные формы аритмий, наличие кардиостимулятора;

- число и различные виды специфических манипуляций: интубации трахеи, катетеризации сосудов, операции, также необходим учет расходных материалов, затраченных на выполнения

этих манипуляций, число методик, проведенных конкретным врачом и т.п.;

- учет различных методик вентиляции легких (инвазивная вентиляция, неинвазивная вентиляция, различные режимы);

- учет эфферентных методов лечения, показаний, эффективности назначений;

- учет осложнений при нахождении в условиях реанимации: пролежни, пневмонии, тромбозы и тромбоэмболии и их исходы.

При планировании в различных отделениях по оказанию интенсивной помощи могут быть включены другие показатели. Представление данных в готовой ИС должно быть удобным с возможностью поиска и сортировки по различным признакам.

Предсказать нужные соотношения показателей и атрибутов не всегда возможно, например, если это «Число больных с острым нарушением мозгового кровообращения в бассейне правой среднемозговой артерии, которым потребовалось применение методик искусственной вентиляции легких и исходы их лечения, показатели смертности, длительности пребывания в условиях реанимации с возможностью группировки по возрасту и полу», «Число повторных госпитализаций в отделение реанимации больных, закрепленных за кардиологическим отделением, и исходы их лечения» и т.п.

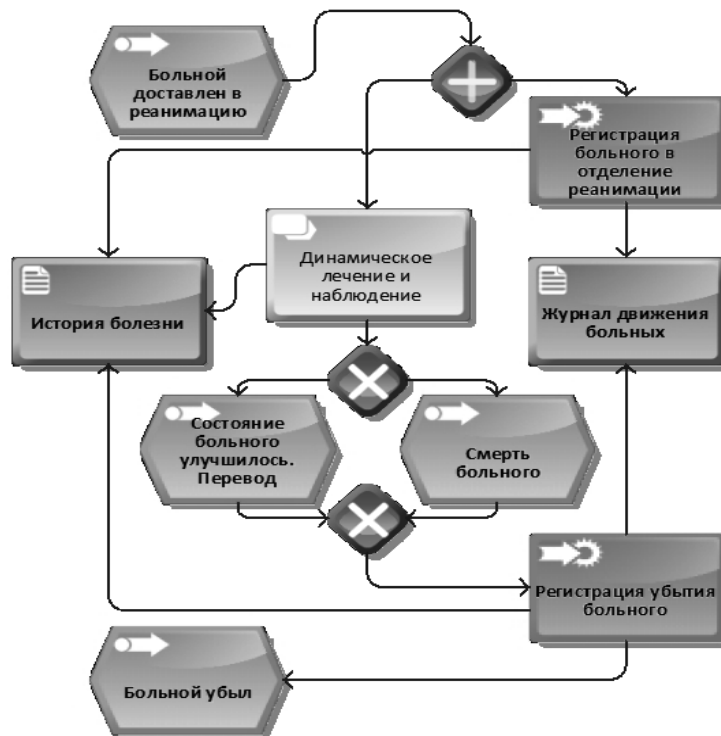


Рисунок 2. Диаграмма бизнес-процесса «Поступление и убытие пациентов»

Создание специализированной ИС реализует логику связей таблиц в базе данных (БД), которая является основой построения всей медицинской системы и практически недоступна для понимания лиц, не вовлеченных в лечебно-диагностический процесс.

Проектирование медицинской ИС

Перечислим основные особенности проектирования ИС для отделений реанимации:

- отделения реанимации и интенсивной терапии являются вспомогательными подразделениями, включать их в общий список всех клинических отделений нецелесообразно;
- при проектировании ИС для отделений реанимации целесообразнее делать это в рамках всей медицинской ИС или в электронной истории болезни, за основу построения БД берется пациент и данные о нем;
- информация, которая необходима врачам-реаниматологам для ввода и учета, крайне важна всем врачам других клинических специальностей, участвующих в лечении конкретного пациента. Создание автоматизированного рабочего места для подразделений реанимаций и интенсивной терапии нецелесообразно.

При проектировании ИС использовалась реляционная модель БД. Рассмотрим особенности структуры взаимодействия данных в БД. Изначально концепция медицинской ИС была выражена через таблицу, построенную в MS Excel и напоминала ее бумажный вариант: «Журнал дви-

жения больных». Данная таблица прошла апробацию в реальных условиях, файл таблицы находился на рабочем столе ЭВМ и данные вводились непосредственно в таблицу, несколько полей были расчетные по формулам. Отчеты формировались с использованием средств программы. Впоследствии таблица была переформатирована в 13 таблиц БД под управлением программы My Visual DataBase, были добавлены атрибуты для проведения анализа по данным показателям, разработаны формы для ввода данных, функции обработки и составления отчетов путем импорта данных в MS Excel. При обработке возникало множество проблем в фильтрации и сортировке, а также с экспортом типа данных в табличный редактор.

Дальнейшее изучение вопроса проектирования ИС и БД, а также увеличения числа атрибутов требовало более компактное размещение данных с максимальным возможным доступом к этой информации. Для решения задачи была применена «нормализация отношений» [3; 5].

Оптимизация данных в разрабатываемой ИС предусматривала преобразование до третьей нормальной формы с тем, чтобы получить оптимальную структуру БД. Были произведены выявление определенных «сущностей» и выделение их в отдельные таблицы, осуществлено обозначение «таблиц-справочников» [2; 6-7].

В связи с тем, что отделение реанимации не могло находиться в общем списке всех отделений больницы, так как является вспомогательным

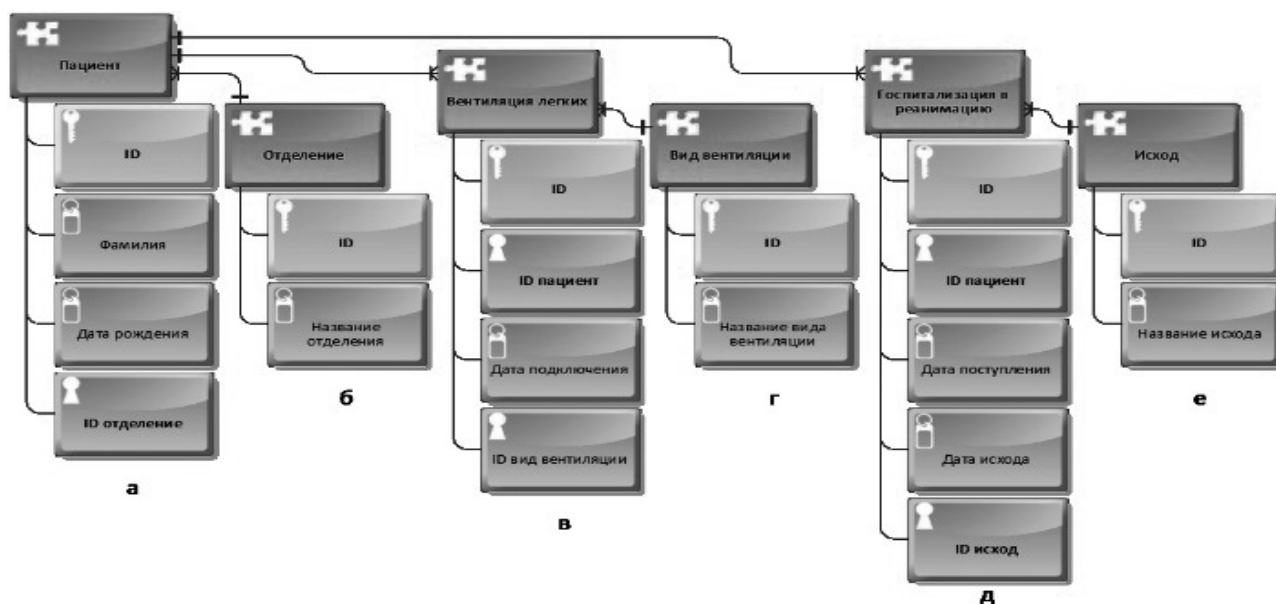


Рисунок 3. Упрощенная схема БД. а – главная таблица; в, д – второстепенные таблицы (связанные с главной как «много к одному»); б, г, е – таблицы-словари (связанные как «один ко многим»)

отделением и оказывает помощь в интенсивной терапии клиническим подразделениям (см. рисунок 1), факт «Госпитализации в реанимацию» был выделен в отдельную таблицу. После этого возник второй вопрос: как связывать таблицы, какую таблицу сделать главной, «Пациент» или «Госпитализация в реанимацию»? Необходимо учитывать, что пациенты могут повторно попасть в реанимацию, а также и то, что отделение реанимации проводит манипуляции по выполнению катетеризации центральных вен больным, которые не находятся в отделении. Исходя из этого, таблица «Пациент» должна быть главной, к которой привязаны все другие таблицы, такие как «Центральный венозный катетер» (информация о дате постановке, виде методике, осложнениях и т.д.), «Вентиляция легких» (информация о дате и длительности и виде методике), так как при привязке этих данных к «Госпитализация в реанимацию» информация останется только в этом разделе, а врачам важно знать, какие манипуляции проводились в условиях реанимации, в том числе при повторных поступлениях в отделение. Упрощенная схема модели данных взаимодействия таблиц в БД представлена на рисунке 3.

На основе разработанной модели была создана ИС лечебного учреждения, которая не только помогла упростить работу врача с медицинскими документами, но и помогла создать уникальный инструмент для хранения медицинских данных,

сортировки и поиска (см. окно приложения на рисунке 4.)

Дальнейшее подключение дополнительных атрибутов (таблиц) с использованием данной схемы возможно в существенно больших масштабах: например, при необходимости учета дополнительных данных о пациенте и т.п.

Адекватная созданная схема данных послужит толчком к дальнейшему развитию медицинской информационной системы, применению элементов экспертных систем, интеллектуальных алгоритмов обработки медицинских данных, моделирующих систем, что в конечном итоге позволит вывести управление медицинскими процессами на новый уровень и в разы снизить число врачебных ошибок [8; 10-11].

Заключение

Исследования, проведенные в данной работе, затрагивают специфику разработки медицинских ИС для отделений реанимации и интенсивной терапии. Показано, что необходим системный подход к рассмотрению задач медицинской информатики. Особое внимание, как в теории, так и в практических реализациях, должно уделяться вопросам архитектуры данных, что требует взаимодействия компаний-разработчиков со специалистами, понимающими, каким образом осуществляются бизнес-процессы медицинских учреждений.

The screenshot displays a software window titled "Журнал движения больных" (Patient Movement Journal). At the top, there is a search section titled "Поиск данных о госпитализации в отделение реанимации" (Search for hospitalization data in the intensive care department). This section includes several input fields: "Дата поступления в реанимацию" (ICU admission date) with a date range from 07.06.2017 to 07.06.2017, "Дата исхода лечения в реанимации" (ICU discharge date) also from 07.06.2017 to 07.06.2017, "Номер истории болезни" (Medical history number), "Имя" (Name), "Отчество" (Patronymic), "Фамилия" (Surname), "Исход" (Outcome), "Отделение" (Department), and "Вид услуг" (Service type). A "ПОИСК" (SEARCH) button is located to the right of these fields.

Below the search form is a table titled "Журнал движения больных" (Patient Movement Journal). The table has the following columns: "Время в ОРИТ №2" (Time in ICU #2), "Имя" (Name), "Отчество" (Patronymic), "Номер ИБ" (Medical history number), "Дата рождения" (Date of birth), "Вид услуг" (Service type), "Отделение" (Department), "Обращение" (Consultation), "Исход" (Outcome), and "Время исхода" (Discharge time). The table contains six rows of patient data.

Время в ОРИТ №2	Имя	Отчество	Номер ИБ	Дата рождения	Вид услуг	Отделение	Обращение	Исход	Время исхода
09.03.2016 13:15:55	Ирина	Васильевна	8928161	04.11.1962	1	15	Первичное	Перевод в клиническое отделение	12.03.2016 10:00:55
09.03.2016 13:00:31	Вера	Николаевна	9297161	21.11.1926	1	2	Первичное	Перевод в клиническое отделение	15.03.2016 12:30:31
09.03.2016 9:30:25	Деньян	Петрович	967716	26.10.1947	1	2	Первичное	Перевод в клиническое отделение	14.03.2016 12:40:25
09.03.2016 13:15:44	Сергей	Федорович	8004161	09.04.1959	1	16	Первичное	Перевод в клиническое отделение	10.03.2016 10:20:44
09.03.2016 13:20:39	Валентин	Григорьевич	969916	16.10.1949	1	1	Первичное	Перевод в клиническое отделение	11.03.2016 11:30:39
10.03.2016 3:35:52	Ольга	Владимировна	9867161	11.07.1954	1	2	Первичное	СМЕРТЬ	17.04.2016 4:30:52

At the bottom of the window, there is a navigation bar with buttons: "Новый пациент" (New patient), "Журнал больных" (Patient journal), "Редактировать госпитализацию" (Edit hospitalization), "Удалить" (Delete), "Excel", and "Выход" (Exit).

Рисунок 4. Форма в готовом приложении медицинской ИС

Изложенная концепция построения БД показала свою эффективность в готовых продуктах, разработано приложение с возможностью получения различных статистических показателей, сортировки и поиска по заданным параметрам с сохранением логики медицинских данных.

Литература

1. Методические рекомендации Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 3 мая 2012 г. «По оснащению медицинских учреждений компьютерным оборудованием и программным обеспечением» // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_118899/ (д.о. 13.10.2018).
2. Том И. Информационные технологии в анализе медицинских данных // Наука и Инновации (Республика Беларусь, Минск). – 2016. – №157. – Т.3. – С. 28-31.
3. Гусев А.В., Дуданов И.П., Романов Ф.А. и др. Особенности в проектировании и практической разработке медицинской информационной системы. Карельский научно-медицинский центр СЗО РАМН, Петрозаводск // Библиотека CIT Forum – Электрон. дан. – М.: 2004. // URL: <http://citforum.ru/consulting/articles/med/> (д.о. 13.09.2018).
4. Дабагов А.Р. Информатизация здравоохранения и некоторые проблемы построения интегрированных медицинских информационных систем // Журнал Радиоэлектроники. – 2011. – №9. – 8 с.
5. Ризаев И.С., Яхина З.Т. Базы данных. Казань: Изд-во КГТУ, 2008. – 240 с.
6. Зингерман Б.В., Шкловский-Корди Н.Е. Электронная медицинская карта и принципы ее организации // Врач и информационные технологии. М.: Менеджер здравоохранения. – 2013. – № 2. – С. 37-58.
7. Кобринский Б.А., Зарубина Т.В. Медицинская информатика. М.: Изд.центр «Академия», 2013. – 192 с.
8. Медицинские информационные системы. Теория и практика. Под ред. Г.И. Назаренко, Г.С. Осипова. М.: Физматлит, 2005. – 320 с.
9. Матвеева Е.А., Квасов А.Ю. Медицинская система учета и анализа результатов лечения в специализированном медицинском учреждении // Инфокоммуникационные технологии. – 2018. – Т.16. – №1. – С. 102-107. DOI: 10.18469/ikt.2018.16.1.11.
10. Bennet J., Glasziou P. Computerised reminders and feedback can improve provider medication management: a systematic review of randomized controlled trials // Medical Journal. – 2003. – No. 178(8). – P. 217-222. DOI: 10.1136/ebm.8.6.190.
11. Kuhn K., Giuse D. From hospital information systems to health information systems: problems, challenges, perspectives // Methods of Information in Medicine. – 2001. – No. 40(4). – P. 275-287. DOI: 10.1055/s-0038-1634170.

Получено 17.09.2018

Малахов Игорь Александрович, заведующий отделением реанимации и интенсивной терапии №2 (ОРИТ №2) Самарской областной клинической больницы им. В.Д. Середавина (СОКБ). Тел. (8-846) 273-36-20. E-mail: malahow@bk.ru

Матвеева Елена Александровна, к.т.н., доцент Кафедры прикладной информатики (ПИ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-36. E-mail: elena_matveeva@mail.ru

Шук Николай Николаевич, врач-анестезиолог-реаниматолог ОРИТ №2 СОКБ, магистрант Кафедры ПИ ПГУТИ. Тел. (8-846) 273-36-20. E-mail: kalabus@mail.ru

PROJECT OF MEDICAL INFORMATION SYSTEM FOR INTENSIVE CARE UNITS

Malahov I.A.¹, Matveeva E.A.², Shuk N.N.^{1,2}

¹*Samara Regional Clinical Hospital V.D. Seredavina, Samara, Russian Federation*

²*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

The article deals with the problems of the process of informatization of public health connected with the design of specialized medical information systems. A particular example shows the stages of designing of an information system for intensive care units. The specifics of the department are considered. The

indicators that have the greatest importance on the adoption of managerial decisions have been determined. The structure and logic of the creation of the data model, the construction of links in the database are determined. The main nuances that are worthy of attention when developing information systems for intensive care units and intensive care units are taken into account, in order to minimize existing errors in the design of narrowly focused medical information systems. The article discusses the logic of table relationships in the database, which is the basis for building the entire system.

Keywords: *medical information system, electronic medical history, analysis of medical data, design of medical databases, errors of information systems design*

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.17

Malahov Igor Alexandrovich, Samara Regional Clinical Hospital; 159 Tashkentskaya, Samara, 443095, Russian Federation; Head of the Intensive Care №2. Tel. +78462733620. E-mail: malahow@bk.ru

Matveeva Elena Alexandrovna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Associated Professor of the Department of the Applied Informatics, PhD in Technical Science, Associated Professor. Tel. +78462280036. E-mail: elenaa_matveeva@mail.ru

Shuk Nikolay Nikolayevich, Samara Regional Clinical Hospital; 159 Tashkentskaya, Samara, 443095, Russian Federation; anesthesiologist and intensive care specialist of the Intensive care unit №2, Samara Regional Clinical Hospital; Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; master's student of the Department of the Applied Informatics. Tel. +78462733620. E-mail: kalabus@mail.ru

References

1. Methodical recommendations of the Ministry of Health and Social Development of Russian Federation «On equipping medical institutions with computer equipment and software for the regional level of the unified state information system in the field of healthcare, as well as functional requirements for them», May 2, 2012. Available at: www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_118899 (accessed 13.09.2018). (In Russian).
2. Tom, I. Informatsionnyye tekhnologii v analize meditsinskikh dannykh [Information technology in the analysis of medical data]. *Nauka i Innovatsii*, 2016, vol. 3, no. 157, pp. 28-31.
3. Gusev A.V., Dudanov I.P., Romanov F.A., Dmitriev A.G. Osobennosti v proyektirovanii i prakticheskoy razrabotke meditsinskoy informatsionnoy sistemy [Features in the design and practical development of a medical information system]. *Karelian Scientific Medical Center of the SZO RAMS, Petrozavodsk*. Library CIT Forum. Moscow, 2004. Available at: <http://citforum.ru/consulting/articles/med/> (accessed 13.09.2018)
4. Dabagov A.R. Informatizatsiya zdavookhraneniya i nekotoryye problemy postroyeniya integrirovannykh meditsinskikh informatsionnykh sistem [Informatization of public health services and some problems of building integrated medical information systems]. *Zhurnal Radioelektroniki*, 2011, no. 9.
5. Rizaev I.S. *Bazy dannykh* [Databases]. Kazan, KSTU Publ., 2008. 240 p.
6. Zingerman B.V., Shklovskiy-Kordi N.E. Elektronnaya meditsinskaya karta i printsipy yeye organizatsii [Electronic medical map and the principles of its organization]. *Vrach i informatsionnyye tekhnologii*, 2013, no. 2, pp. 37-58.
7. Kobrinsky B.A. *Meditsinskaya informatika* [Medical Informatics]. Moscow, Akademiya Publ., 2013. 192 p.
8. Nazarenko G.I., Osipova G.S. *Meditsinskiye informatsionnyye sistemy. Teoriya i praktika*. [Medical information systems. Theory and practice]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2005. 320 p.
9. Matveeva E.A., Kvasov A.Yu. Meditsinskaya sistema ucheta i analiza rezul'tatov lecheniya v spetsializirovannom meditsinskom uchrezhdenii [Medical system for recording and analyzing the results of treatment in a specialized medical institution]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2018, vol. 16, no. 1, pp. 102-107. DOI: 10.18469/ikt.2018.16.1.11.
10. Bennet J., Glasziou P. Computerised reminders and feedback can improve provider medication management: a systematic review of randomized controlled trials. *Medical Journal*, 2003, vol. 178, no. 8, pp. 217-222. DOI: 10.1136/bm.8.6.190.

11. Kuhn K. Giuse D. From hospital information systems to health information systems: problems, challenges, perspectives. *Methods of Information in Medicine*, 2001, vol. 40, no. 4, pp. 275-287. DOI: 10.1055/s-0038-1634170.

Получено 17.09.2018

УДК 681.518 + 658.336 + 004.031.4

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ И ВУЗОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Данилаев Д.П., Маливанов Н.Н.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, Казань, РФ
E-mail: danilaev.reku@kstu-kai.ru

В статье рассмотрена идея «Цифрового кластера «предприятие – вуз» в контексте концепции «Цифровая экономика». Разделены сегменты концепции цифровизации, которые определяют содержательное наполнение направлений взаимодействия субъектов этого кластера. Модели и формы подготовки специалистов для предприятий могут существенно изменяться и переходить на новую цифровую платформу. На основе единой информационной среды появляется новый функционал в виде согласованных компетентностных моделей выпускника вуза и специалиста предприятия, банка компетенций, адаптивных образовательных программ и модулей. Новые формы взаимодействия позволяют сократить переходный период цифровизации производства на существующих предприятиях.

Ключевые слова: цифровой кластер, цифровая экономика, компетентностная модель, образовательная среда

Введение

Экономика вступает в новую фазу своего развития – цифровую, что обуславливает формирование новых экономических, социальных и культурных отношений на основе применения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) [1]. Технологически цифровая экономика представляет собой среду, в которой юридические и физические лица могут контактировать между собой по поводу совместной деятельности [2].

Одним из приоритетных направлений программы «Цифровая экономика Российской Федерации» является подготовка технических специалистов и кадровое обеспечение предприятий [3-4]. Причем новые социально-экономические отношения на основе ИКТ могут снять ряд накопившихся противоречий и проблем взаимодействия вузов, работодателей и студентов [5].

Цель статьи – анализ механизмов реализации компетентностного подхода к кадровому обеспечению производств на основе концепции «Цифровой кластер «Предприятие – Вуз».

«Цифровой кластер «Предприятие – Вуз» в контексте «Цифровой экономики»

Вузы являются одним из основных «поставщиков» кадров на предприятия. Работодателям важно, чтобы выпускник технического вуза обладал набором необходимых компетенций и мог опера-

тивно адаптироваться к производственному процессу. Также он должен уметь работать в команде, организовывать работу и руководить ею, обладать навыками коммуникации. Предприятие на своей базе способно сформировать недостающие компетенции выпускников. Но для фундаментальной, полной подготовки работодателям недостает методической базы, специалистов в междисциплинарных областях. Вузы в свою очередь не имеют разнообразной, современной материально-технической базы. Вряд ли они успеют за оснащением современным оборудованием разных предприятий.

Поэтому организация взаимодействия вузов и работодателей, подготовка квалифицированных кадров, освоение и развитие технологий находятся в их общих целях и интересах. Большим потенциалом при этом обладает внутрикорпоративное взаимодействие субъектов: вузов и работодателей, – для интеграции их ресурсов. Одной из возможных форм объединения субъектов является создание кластера по отраслевому, географическому или др. принципу, внутри которого могут выстраиваться взаимосвязи типа: вуз – вуз; вуз – работодатель; предприятие – предприятие.

Современные коммуникационные технологии способствуют высоким скоростям и разнообразию форм взаимодействия. Концепция «Цифрового кластера «Предприятие – Вуз» заключается в создании единой информационной среды их взаимодействия, объединения их ресурсов для достижения общей цели – подготовки технических

специалистов с необходимыми профессионально важными качествами (компетенциями) [3].

С учетом имеющихся в настоящее время исследовательских и технологических заделов в концепции «Цифровая экономика» можно выделить три относительно самостоятельных ключе-

вых ее сегмента. Это цифровой двойник [6-7], информационно-коммуникационная инфраструктура [8-9] и цифровая платформа (информационная система сопровождения основных процессов жизненного цикла наукоемкой продукции) [9-10] – см. рисунок 1.



Рисунок 1. Сегменты концепции цифровизации

Цифровой двойник в настоящее время является вполне реальным продуктом цифровой экономики. Это единая модель реального актива, достоверно описывающая все его характеристики, условия его существования и применения, процессы и взаимосвязи, как на отдельном объекте, так и в рамках целого производственного актива, а также реализующая технологии виртуальной и дополненной реальности. Благодаря этим технологиям цифровой двойник является многофункциональным продуктом, среди его функциональных назначений могут быть:

- описание изделия, образ изделия, проектируемый, модернизируемый на этапе разработки продукта;
- виртуальный двойник изделия, вместе с руководством и данными по его обслуживанию, обеспечивающий испытания и эксплуатацию реального продукта;
- образовательный кейс, предназначенный для освоения изделия: устройства или системы, – пользователем, без возможного для них ущерба;
- объект исследования свойств реального изделия и условий его эксплуатации;
- механизм разработки и апробации технологий производства реального продукта;
- элемент системы управления полным жизненным циклом изделия;
- эталонная модель изделия, обеспечивающая выявление отклонений параметров и характеристик объекта от заданных значений. Реализованный вместе с датчиками в программно-аппаратном исполнении, цифровой двойник образует систему объективного контроля параметров и

характеристик объекта, обеспечивая надежность сложной технической системы.

«Пространственной, коммуникационной и транспортной основой информационно-коммуникационной инфраструктуры, информационного пространства любой страны являются высокоскоростные сети электросвязи последующих поколений (NGN), предоставляющие любому пользователю, в любом месте универсальный широкополосный доступ к неограниченному спектру сервисов и иных благ электросвязи и ИКТ» [8]. Без опережающего развития этих сетей и соответствующей техники невозможно распространение и применение современных информационных технологий и продуктов в виде цифрового двойника.

«Под цифровой платформой понимается сложная информационная система, обеспечивающая специфический способ выполнения определенной функции, которая открыта для использования клиентами и партнерами, включая разработчиков приложений, мерчантов (финансовые услуги через банковские карты) и агентов» [9]. Информационная система сопровождения основных процессов жизненного цикла наукоемкой продукции предназначена для реализации технологий производства, распределения, обмена и потребления на базе ИКТ. Состав и структура таких систем существенно зависят от предметной области их приложения. Однако всех их объединяет идея управления технологиями в цифровой экономике и создания новой технологической базы [1].

Возможность выделения трех сегментов концепции цифровизации (см. рисунок 1) под-

тверждается критериями оценки степени цифровизации экономики стран, предлагаемых разработчиками методик различных рейтингов (см. таблицу 1) [11].

Каждый сегмент концепции цифровизации вносит соответствующее содержательное наполнение в направления взаимодействия субъектов цифрового кластера «Предприятие – Вуз», а также содержательное наполнение компетенций современного специалиста.

От реализации совокупности всех трех сегментов концепции цифровизации зависит конкурентоспособность предприятий в так называемом «цифровом вихре» [12]. Цифровой вихрь – это неизбежное движение различных отраслей по направлению к «цифровому центру», в котором бизнес-модели, продукты и ценностные цепочки максимально оцифровываются.

Цифровые технологии разрушают существующие способы создания и потребления продукции и создают новые. Здесь конкурентные преимущества образуются благодаря гибкости, быстрым инновациям, готовности к экспериментам. Для существующих предприятий со сложившейся инфраструктурой, как правило, появляется переходный период освоения цифровых технологий, внедрения новых бизнес-моделей.

Тогда длительность этого переходного периода может являться показателем конкурен-

тоспособности этих предприятий. Она зависит от компетентности персонала предприятий и их включенности в процессы «цифровизации». Причем сами цифровые технологии могут стать инструментом повышения компетентности специалистов предприятий.

Компетентностный подход в цифровом кластере «Предприятие – Вуз»

Важнейшей точкой соприкосновения работодателей и вузов является формирование модели будущего специалиста, которая выражается, например, Федеральными Государственными образовательными стандартами (ФГОС), квалификационными требованиями, паспортом специалиста, отраслевыми и профессиональными стандартами. Однако сопоставление профессиональных и образовательных стандартов обнаруживает порой их противоречие, в ряде случаев несоответствие не только перечня профессий и профилей подготовки, но даже номенклатуры квалификаций [13].

Одна из форм взаимодействия вузов и работодателей выражается в экспертной функции последних относительно их качественных и количественных кадровых потребностей. Экспертный подход призван снизить неопределенность частных целей подготовки специалистов, компенсировать скорость устаревания знаний,

Таблица 1. Оценка степени цифровизации экономики [11]

Индекс	Разработчик	Компоненты рейтинга: факторы (субфакторы)
I-DESI (Индекс цифровой экономики и общества)	Еврокомиссия, Capgemini	Подключенность Человеческий капитал Уровень использования интернета Интеграция цифровых технологий Цифровые государственные услуги
e-intensity (Индекс цифровизации экономики)	BCG	Наличие инфраструктуры для доступа Вовлечение в цифровую деятельность Расходы на цифровизацию
GCI Global Connectivity Index (Индекс глобального подключения)	Huawei	Уровень развития цифровых технологий (широкополосный доступ, дата-центры, облака, большие данные, интернет вещей) Характеристика рыночных компетенций участников (спрос, предложение, опыт, потенциал)
World Digital Competitiveness Index (Цифровая конкурентоспособность)	Бизнес-школа IMD	Знания (таланты, образование, научная деятельность) Технология (регуляторика, капитал, уровень развития связи) Готовность (возможности по адаптации, гибкость бизнеса, уровень интеграции ИТ)

компетенций. Но обращение к этому подходу порождает, с одной стороны, компетентностную избыточность, с другой – несогласованность экспертных мнений (особенно между представителями крупного и малого бизнеса) [14-15]. Эти явления становятся проблемой, особенно в связи с ограниченным сроком обучения в вузе, условиями и особенностями организации учебного процесса [5].

Большое значение для понимания сути появившихся проблем имеет определение понятия «компетенция». Словарь иностранных слов [16] определяет компетенцию следующим образом: «1. Осведомленность в каком-нибудь круге вопросов, какой-нибудь области знания. 2. Круг чьих-нибудь полномочий, прав». Применительно к предметной области это определение можно интерпретировать как личную способность специалиста решать порученный ему класс профессиональных задач. Но как возможно формировать компетенции специалиста, если ряд профессиональных задач, которые ему будут поручены, заранее неизвестен?

Согласно образовательным стандартам вузы формируют у студентов набор базовых компетенций – способность решать ряд стандартных профессиональных задач. При этом в связи с развитием техники и технологий знания достаточно быстро устаревают, и, более того, отпадает необходимость в ряде профес-

сий. От будущего инженера требуется способность к непрерывному обучению, способность находить недостающую информацию и уметь применять ее на практике [5]. Огромное значение при этом имеет надсистемность знаний и умений человека, а также методология его обучения [17].

Для оценки эффективности профессиональной деятельности специалиста существенным понятием является «компетентность». «Это интегральное свойство личности, характеризующее его стремление и способность (готовность) реализовать свой потенциал для успешной деятельности в определенной области». [14] Компетентность специалиста периодически обновляется, в том числе за счет приобретения новых компетенций. Но как личностная характеристика она в общем случае не является суммой отдельных компетенций. Это можно пояснить хотя бы тем, что результаты обучения, которые формализованы набором компетенций выпускников, часто не тождественны целям образования. Такое расхождение существенно для организации взаимодействия вузов, студентов и работодателей. Однако если компетенции рассматривать как круг задач, которые приходилось решать специалисту, то их перечень является отражением уровня его профессионализма. А компетентностная модель является образом, характеризующим набором компетенций личности как специалиста.



Рисунок 2. Согласование компетентностных моделей специалиста предприятий и выпускника вуза с эталонной моделью. Обозначения: КМВ – компетентностная модель выпускника; КМС – компетентностная модель специалиста

Необходимый уровень компетентности специалиста требует соответствующего образовательного сопровождения в течение всей его жизни. Интеграция информационных систем вуза и предприятия позволяет связать функции информационной поддержки процессов жизненного цикла изделий и управления на предприятии, модели знаний, компетенций персонала предприятий и программы подготовки (переподготовки) специалистов. Важнейшим результатом применения такой системы является согласованный эталон компетентностной модели специалиста – единый для работников предприятий и выпускников вузов (см. рисунок 2).

Компетентностные модели выпускника и специалиста безусловно пересекаются и дополняют друг друга, но не совпадают полностью. Компетентностная модель выпускника в соответствии с требованиями ФГОС вбирает в себя общекультурные, общепрофессиональные компетенции. Компетентностная модель специалиста связана с конкретной предметной областью, профессиональной деятельностью и является более точной, но при этом более узкой. За рамками этих моделей остаются трудно формализуемые составляющие компетентности специалиста, которые, как правило, приходят с опытом работы, с его профессиональным и карьерным ростом.

Для отдельного предприятия эталонная модель может быть достаточно гибкой. В отличие от стандартов это периодически обновляющаяся компетентностная модель некоего оптимального работника предприятия. Сравнение компетентностных моделей (КМВ и КМС на рисунке 2) между собой, а также с эталонной моделью позволяет выявить недостающие компетенции работников предприятия и требуемые составляющие компетентностной модели выпускника [18]. Это позволяет определить элементы теоретической и практической подготовки, не вписавшиеся в ограниченные нормативными сроками обучения рамки основных образовательных программ вузов. Такие разделы могут быть скомпенсированы дополнительным обучением.

Наиболее распространенной формой расширения ряда компетенций сотрудника предприятия и повышения его компетентности является дополнительное профессиональное образование (ДПО). Исследования показывают, что потребности работодателей в подготовке по программам ДПО составляют 98,3% от общей потребности в обучении [18]. Обучение по программам ДПО должно проводиться не реже одного раза в три года, а для ряда должностей, отраслей экономики

и видов профессиональной деятельности – ежегодно [19].

При совпадении частных целей подготовки содержание программ ДПО и профильной части основных образовательных программ высшего образования может быть согласовано. Модульный принцип позволяет транслировать наиболее востребованные содержательные части программ ДПО в состав основных образовательных программ, периодически актуализируя их (см. рисунок 2). Этот же принцип обеспечивает возможность физическим лицам самостоятельно формировать образовательные траектории из отдельных элементов (программ, модулей и блоков). Тогда единая информационная среда «Цифровой кластер «Предприятие – Вуз» обеспечивает формирование адаптивной, самонастраивающейся системы подготовки специалистов. Студенты или сотрудники предприятий, используя модульный принцип формирования программы подготовки, имеют возможность «набрать» компетенции, актуальные в настоящее время или в перспективе для конкретного работодателя. Причем и для тех, и для других возможны форматы ДПО в вузе или корпоративного обучения.

Согласование компетентностных моделей выпускника вуза и работника предприятия создает предпосылки для конкуренции между трудоустривающимися на предприятия молодыми людьми и уже задействованными в производственном процессе сотрудниками. Такая конкуренция для сотрудников может стать дополнительной мотивацией в непрерывном самосовершенствовании.

Применение единой информационной среды взаимодействия обуславливает появление еще одной компетенции: «цифровой» – владение современными информационными технологиями (по сегментам концепции цифровизации – см. рисунок 1) и способностью их применить для развития собственной компетентности. «Цифровая» компетенция фактически определяет у личности качество коммуникативности на основе современных ИКТ. Формирование этой компетенции у студентов фактически осуществляется, например, путем применения электронной образовательной среды университетов. Однако для выпускников прошлых лет такая среда часто остается недоступной. Тогда развитие этой компетенции у специалистов предприятий и организаций может быть принято как одна из частных целей и составляющая программ дополнительного профессионального образования. Здесь любопытен пример опыта Бельгии, «где в 70-х гг. были созданы специальные мобильные группы

специалистов (в том числе и преподавателей, и студентов профильных вузов), которые проводили обучение сотрудников госорганов и настройку информационных систем непосредственно на рабочих местах, находясь там столько времени, сколько требовалось» [2].

Единая информационная среда обеспечивает распространение и доступность электронных информационных ресурсов [4]. Со стороны предприятий это пакеты прикладных программ и информационные среды CAD, CAM, CAE, а также прикладные цифровые технологии производства. Со стороны вуза это накопленные библиотечные ресурсы. Эта составляющая взаимодействия обеспечивает методическое сопровождение и актуальность модулей основных и дополнительных образовательных программ.

Создание единой информационной среды позволяет координировать встречные информационные потоки предприятий и вузов [4]. С одной стороны, процессный подход, реализованный в концепции «Цифровое предприятие», позволяет определить набор компетенций технических специалистов, востребованных в связи с выделенными производственными процессами, а также определить ряд недостающих компетенций. С другой стороны, это каталог уникальных наборов компетенций выпускников, полученных с учетом профиля подготовки, а также позже, в процессе работы на предприятиях.

Единая информационная среда взаимодействия позволяет обеспечить не только подбор кадров для предприятий с учетом уровня подготовки выпускников и потребностей работодателей, но также осуществить ротацию кадров. Здесь можно успешно реализовать технологию крауд-сорсинга [2]. По сути, она схожа с формированием временных трудовых коллективов для решения частных производственных задач. Такой подход близок духу академической среды с ее научно-исследовательской, инновационной и профессиональной составляющей. В состав временных трудовых коллективов могут привлекаться преподаватели и студенты вузов, а также выпускники прежних лет с востребованными компетенциями и компетентностью. Тогда роль информационной среды университетов распространяется на создание базы данных со сведениями о пополняющихся компетенциях всех выпускников и с механизмами реализации их компетентности. Эту базу данных можно условно назвать «банк компетенций».

В широком смысле указанный банк – это форма обмена информацией, форма прямого диалога

специалистов и работодателей, специалистов и вузов, вуза и работодателей. В более узком смысле банк компетенций представляет собой модель каждого специалиста, работающего в той или иной сфере профессиональной деятельности. Как не бывает двух одинаковых людей, так существует многообразие моделей специалистов, при условии ограниченной детализации компетенций специалистов, чтобы компетенция не вырождалась в элементарный профессиональный навык [14].

Цифровой кластер «Предприятие – Вуз» может выступать единой площадкой банка компетенции в рамках целой корпорации. По аналогии с сайтами для поиска работы в рамках корпорации возможно создание открытой системы поиска и подбора специалистов. В том числе поиска внутренних кадровых резервов для решения частных производственных задач. Для каждого выпускника его компетентностная модель отражается портфолио, которое пополняется по мере появления опыта работы. Для вуза эти модели характеризуют качество подготовки выпускников, эффективность трудоустройства. Но главное – это элемент обратной связи от выпускников и работодателей к вузам, механизм продолжающихся контактов с выпускниками и механизмы реализации lifelong learning.

Единая информационная платформа с банком компетенций, с открытым или авторизованным доступом работодателей к портфолио выпускников позволяет создать конкурентную среду перераспределения специалистов на рынке квалифицированного труда. Причем здесь возможна конкуренция между субъектами каждой стороны. Конкуренция между работодателями за привлечение квалифицированных специалистов в конкретной предметной области. Конкуренция между выпускниками вузов за лучший карьерный рост, лучшие рабочие места, большую зарплату. Конкуренция между вузами в части совершенствования учебных планов образовательных программ, а также за возможность реализации своих программ ДПО, и расширение этого рынка образовательных услуг.

Выводы

Таким образом, Цифровой кластер «Предприятие – Вуз» становится основой для саморегулирующейся системы адаптивной подготовки специалистов. Он также является механизмом развития индивидуальных траекторий подготовки студентов и работающих сотрудников предприятий, уточнения эталонной модели специ-

алиста отдельного предприятия, и реализации компетентностного подхода при их подготовке путем постановки частных целей и формирования соответствующих образовательных модулей. Каждый сегмент концепции цифровизации вносит соответствующее содержательное наполнение в направления взаимодействия субъектов Цифрового кластера «Предприятие – Вуз», а также содержательное наполнение компетенций современного специалиста.

Предложенный в составе Цифрового кластера банк компетенций открывает новые формы взаимодействия работодателей, студентов и вузов. Каждый субъект получает новые возможности – для вуза, например, можно отметить следующие из них.

1. Перечень вновь появляющихся компетенций выпускников в их компетентностных моделях может быть использован как вектор развития основных и дополнительных образовательных программ вузов. Это будет способствовать увеличению доли программ ДПО (и обучаемых по ним), в том числе в сфере освоения нового оборудования и технологий, а также увеличению скорости реагирования вузов на потребности профессионального сообщества в той или иной сферах деятельности.

2. С помощью внедрения банка компетенций и механизмов реализации компетентности специалистов более четко определяются цели ДПО – обеспечение компетентности каждого специалиста в течение всей его жизни.

3. Благодаря модульному принципу основные образовательные программы могут легко адаптироваться к потребностям работодателей, т.е. актуализироваться. Поэтому банк компетенций обеспечивает более тесную интеграцию вузов в социально-экономическую структуру региона, в котором они работают.

4. Цифровой кластер может стать инструментом поиска и привлечения опытных специалистов предприятий и корпораций для реализации дополнительных образовательных программ.

Литература

1. Иванов В.В., Малинецкий Г.Г. Цифровая экономика: от теории к практике // Инновации. – 2017. – №12. – С. 3-12.
2. Панышин Б.Н. Цифровая экономика: особенности и тенденции развития // Наука и инновации. – 2016. – №3. – С.17-20.
3. Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» // URL: <http://government.ru/docs/28653/> (д.о. 31.05.2018).

4. Данилаев Д.П. Методология организации и информационная система подготовки кадрового обеспечения предприятий ОПК // Организатор производства. – 2017. – Т.25. – №4. – С. 5-17.
5. Данилаев Д.П., Маливанов Н.Н. Современные условия и структура взаимодействия вузов, студентов и работодателей // Высшее образование в России. – 2017. – №6. – С. 29-35.
6. Никоноров А., Шишмарев А. Цифровой двойник // Сибирская нефть. – 2017. – №140 (апрель) // URL: <http://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2017-april/1119180/> (д.о. 16.07.2018).
7. Цифровой двойник: недостающее звено // URL: <https://events.vedomosti.ru/media/materials/material-d205368a> (д.о. 16.07.2018).
8. Ластович Б. ИКТ инфраструктура цифровой экономики. Простые истины // ИнформКурьер Связь. 2017. №07-08. // URL: http://www.iksmedia.ru/articles/5434122-ИКТ_in_frastruktura_cifrovoj_ekonom. (д.о. 13.07.2018).
9. Бычков И.В., Ружников Г.М., Фёдоров Р.К. и др. Инфраструктура цифровой экономики Иркутской области // Труды XVI Всероссийской конференции DICR-2017. Новосибирск. // URL: <http://elib.ict.nsc.ru/jspui/bitstream/ICT/1467/8/paper04.pdf> (д.о. 13.07.2018).
10. Цифровое предприятие. Типовая информационная система оборонно-промышленного комплекса. Основные элементы истории проекта // URL: http://xn--h1aeleie.xn--plai/sites/default/files/docs/cifrovoe_predpriyatie_tipovaya_informacionnaya_sistema_oboronno-promyshlennogo_kompleksa_osnovnye_elementy_istorii_proekta.pdf (д.о. 13.07.2018).
11. Кривошеев О.В. Цифровая экономика Российской Федерации. Технологические заделы // URL: <http://www.fa.ru/org/dep/findata/Documents/News/2017/11/Oleg%2520Krivosheev.pdf>. (Дата д.о.13.07.2018).
12. Лоакс Д., Маколей Д., Норона Э., Уэйд М. Цифровой вихрь. М.: Изд-во ЭКСМО, 2018. – 400 с.
13. Сазонов Б.А. Классификация профессиональных программ в Российской Федерации: проблемы и возможные решения // Высшее образование в России. – 2017. – №11. – С.20-30.
14. Томилин О.Б., Томилин О.О. Проблемы компетентностного подхода в высшем профессиональном образовании // Университетское управление: практика и анализ. – 2014. – №1. – С.44-55.

15. Данилаев Д.П. Комплексное взаимодействие высшего технического учебного заведения и промышленных предприятий // Университетское управление: практика и анализ. – 2012. – №3. – С.64-68.
16. Краткий словарь иностранных слов. М.: Гос. изд-во иностранных и национальных словарей. – 1950. – 456 с.
17. Иванов В.Г., Сазонова З.С., Сапунов М.Б. Инженерная педагогика: попытка типологии // Высшее образование в России. – 2017. – №8/9. – С.32-42.
18. Компетентностный подход в аэрокосмическом образовании. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. – 216 с.
19. Федотов А.В., Беляков С.А., Клячко Т.Л., Полужкина Е.А. Периодичность обучения по программам дополнительного профессионального образования: факты и потребности // Университетское управление: практика и анализ. – 2018. Т. 22. – №1. – С.38-50.

Получено 20.07.2018

Данилаев Дмитрий Петрович, д.т.н., доцент Кафедры радиоэлектронных и квантовых устройств Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ). Тел. (8-843) 238-40-67. E-mail: danilaev.reku@kstu-kai.ru

Маливанов Николай Николаевич, д.пед.н., профессор, проректор по образовательной деятельности КНИТУ-КАИ. Тел. (8-843) 231-01-11. E-mail: cno@kai.ru

INTERACTION SPECIFICS BETWEEN ENTERPRISES AND UNIVERSITIES IN DIGITAL ECONOMY CONTEXT

Danilaev D.P., Malivanov N.N.

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev,

Kazan, Russian Federation

E-mail: danilaev.reku@kstu-kai.ru

In the article the Enterprise–University Digital Cluster idea in the context of Digital Economy concept is considered. The digitalization concept segments are isolated, which determine the context of the interaction between the the cluster subjects. Specialists' training models and forms can change significantly and move to a new digital platform. Based on the unified information environment, a new functionality appears in the form of coordinated competency models of the university graduate and enterprises expert, banks of competences, adaptive educational programs and modules. New forms of interaction allow reducing the transitional period of production digitalization at the existing enterprises.

Keywords: *digital cluster, digital economy, competence model, educational environment*

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.1.18

Danilaev Dmitriy Petrovich, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, 10 Karl Marx Str., Kazan, 420111, Russian Federation; Associated Professor of the Department of Radioelectronic and Quantum Devices, Doctor of Technical Science. Tel. +7 (843) 238-40-67. E-mail: danilaev.reku@kstu-kai.ru

Malivanov Nikolay Nikolaevich, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, 10 Karl Marx Str., Kazan, 420111, Russian Federation. Vice-rector for Academic Affairs, Doctor of Pedagogy, Professor. Tel. +7 (843) 231-01-11. E-mail: cno@kai.ru

References

1. Ivanov V.V., Malineckij G.G. Cifrovaya ekonomika: ot teorii k praktike [Digital economy: from theory to practice]. *Innovacii*, 2017, no. 12, pp. 3-12.
2. Panshin B.N. Cifrovaya ekonomika: osobennosti i tendencii razvitiya [Digital Economy: Features and Trends of Development]. *Nauka i innovacii*, 2016, no. 3, pp.17-20.
3. Ob utverzhdenii programmy «Cifrovaya ekonomika Rossijskoj Federacii» [Approval of the program «Digital Economy of the Russian Federation»]. Available at: <http://government.ru/docs/28653/> (accessed 31.05.2018).

4. Danilaev D.P. Metodologiya organizatsii i informatsionnaya sistema podgotovki kadrovogo obespecheniya predpriyatij OPK [The organization methodology and the information system for the defense industry enterprises personnel training]. *Organizator proizvodstva*, 2017, vol. 25, no. 4, pp. 5-17. DOI: 10.25065/1810-4894-2017-25-4-5-17.
5. Danilaev D.P., Malivanov N.N. Sovremennye usloviya i struktura vzaimodejstviya vuzov, studentov i rabotodatelej [Modern conditions and structure of interaction between universities, students and employers]. *Vysshee obrazovanie v Rossii*, 2017, no. 6, pp. 29-35.
6. Nikonorov A., Shishmarev A. Cifrovoy dvojniki [Digital double]. *Sibirskaya neft*, 2017, no. 140. Available at: <http://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2017-april/1119180/> (accessed: 07.16.2018).
7. Cifrovoy dvojniki: nedostayushee zveno [Digital double: the missing link] Available at: <https://events.vedomosti.ru/media/materials/material-d205368a-ebba-4b81-9ca7-a09659937699/download> (accessed: 07.16.2018).
8. Lastovich B. IKT infrastruktura cifrovoy ekonomiki. Prostye istiny [ICT infrastructure of the digital economy. Simple truths]. *InformKurer Svyaz*, 2017, no. 07-08. Available at: <http://www.iksmedia.ru/articles/5434122-IKTinfrastruktura-cifrovoy-ekonomik.html> (accessed: 07.13.2018).
9. Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Fyodorov R.K. Infrastruktura cifrovoy ekonomiki Irkutskoj oblasti [Infrastructure of digital economy of the Irkutsk region]. *Proceedings of the XVI All-Russian Conference DICR-2017*. Novosibirsk. Available at: <http://elib.ict.nsc.ru/jspui/bitstream/ICT/1467/8/paper04.pdf> (accessed: 13.07.2013).
10. «Cifrovoe predpriyatie». Tipovaya informatsionnaya sistema oboronno-promyshlennogo kompleksa. Osnovnye elementy istorii proekta [Digital enterprise. Typical information system of the military-industrial complex. Main elements of the project history] Available at: http://xn--h1aeieie.xn--p1ai/sites/default/files/docs/cifrovoe_predpriyatie_tipovaya_informatsionnaya_sistema_oboronno-promyshlennogo_kompleksa_osnovnye_elementy_istorii_proekta.pdf (accessed: 07.13.2018).
11. Krivosheev O.V. Cifrovaya ekonomika Rossijskoj Federatsii. Tehnologicheskie zadely [Digital Economy of the Russian Federation. Technological reserves] Available at: <http://www.fa.ru/org/dep/findata/Documents/News/2017/11/Oleg%2520Krivosheev.pdf>. (accessed: 13.07.2013).
12. Macaulay J., Loax J., Wade M., Noron A. *Cifrovoy vihr* [The digital vortex]. Moscow, EKSMO Publ., 2018. 400 p.
13. Sazonov B.A. Klassifikatsiya professionalnykh programm v Rossijskoj Federatsii: problemy i vozmozhnye resheniya [Classification of professional programs in the Russian Federation: problems and possible solutions]. *Vysshee obrazovanie v Rossii*, 2017, no. 11, pp. 20-30.
14. Tomilin O.B., Tomilin O.O. Problemy kompetentnostnogo podhoda v vysshem professionalnom obrazovanii [Problems of the competence approach in higher professional education] // *Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz*, 2014, no. 1, pp. 44-55.
15. Danilaev D.P. Kompleksnoe vzaimodejstvie vysshego tehnikeskogo uchebnogo zavedeniya i promyshlennykh predpriyatij [Complex interaction of the higher technical educational institution and industrial enterprises]. *Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz*, 2012, no. 3, pp. 64-68.
16. Lyohina L.V., Petrova F.N. *Kratkij slovar inostrannykh slov* [Dictionary of foreign words]. Moscow, Gos. izd-vo inostrannykh i nacionalnykh slovarej, 1950. 456 p.
17. Ivanov V.G., Sazonova Z.S., Sapunov M.B. Inzhenernaya pedagogika: popytka tipologii [Engineering pedagogy: attempt of typology]. *Vysshee obrazovanie v Rossii*, 2017, no. 8-9, pp. 32-42.
18. Gerashchenko A.N., Kuprikova M.Yu., Sidorova A.Yu. Kompetentnostnyj podhod v aerokosmicheskom obrazovanii [Competence approach in aerospace education: monograph]. Moscow, MAI-PRINT Publ., 2010. 216 p.
19. Fedotov A.V., Belyakov S.A., Klyachko T.L., Polushkina E.A. Periodichnost obucheniya po programmam dopolnitelnogo professionalnogo obrazovaniya: fakty i potrebnosti [Training periodicity with the additional vocational education programs: facts and needs]. *Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 38-50.

Received 20.07.2018

**К 90-летию со дня рождения
Василия Павловича Пуккина**



В феврале 2019 года исполнилось 90 лет со дня рождения бывшего первого заведующего кафедрой «Линии связи и измерения в технике связи» ПГУТИ, кандидата технических наук, доцента В.П. Пуккина. Родился Василий Павлович 12 февраля 1929 года. Его «малая» родина – деревня Кёрстово Кингисеппского района Ленинградской области. После Великой Отечественной войны, работая на Ленинградской городской телефонной сети электромонтером, поступил в техникум связи, где учился упорно и хорошо. По окончании техникума был направлен на работу в Литву (г. Вильнюс), а затем в Латвию (г. Клайпеда) на городские телефонные сети, где работал сначала электромехаником, а затем руководителем среднего звена. После переезда в г. Саратов был там начальником линейно-технического узла связи.

Уже имея большой опыт практической и руководящей работы, Василий Павлович поступил учиться в Ленинградский электротехнический институт связи им. Бонч-Бруевича, а по окончании его – в аспирантуру ЛЭИС. Успешно защитил в 1964 году кандидатскую диссертацию, посвященную интереснейшей и необходимой по тем временам проблеме – температурной зависимости параметров электрических кабелей связи. После аспирантуры получил направление в тогда еще совсем молодой Куйбышевский электротехнический институт связи (ныне ПГУТИ), где проработал до 1996 года, фактически до последних дней своей жизни.

В 1967 году по его инициативе была создана кафедра «Линии связи и измерения в технике связи» (ЛС и ИТС), которой доцент В.П. Пуккин руководил 11 лет. В то время он на кафедре был единственным кандидатом наук и, понимая, что без науки кадровую проблему решить нельзя, осенью 1968 года вместе с начинавшим преподавательскую деятельность Б.В. Поповым впервые установил хозяйственные отношения с Куйбышевским заводом кабелей связи (ныне АО «Самарская кабельная компания») – которые в самых разных форматах взаимодействия не прекращались и не прекращаются до сих пор.

Несколько позже Василий Павлович аналогичным налаживает деловые и творческие связи с родственной кафедрой «Линии связи» Московского ордена Трудового Красного Знамени электротехнического института связи (ныне МТУСИ), которую долгие годы возглавлял выдающийся ученый, доктор технических наук, профессор и академик Игорь Измайлович Гроднев. На основе этих связей молодые преподаватели кафедры ЛС и ИТС направлялись в целевую аспирантуру МЭИС, где после учебы успешно защищали кандидатские диссертации и возвращались на свою родную кафедру. Все авторы настоящей статьи прошли научную школу И.И. Гроднева, который воспитал более 50 кандидатов наук и шесть докторов наук. С большой благодарностью мы сегодня вспоминаем годы, проведенные в аспирантуре, где одновременно с нами и после нас учились Чернощев Г.В., Попов Б.В., Лиманский Н.С., Андреев В.А., Бурдин В.А., Воронков А.А., Алфимов М.Г., Попов В.Б.

Василий Павлович Пуккин был великолепным руководителем кафедры – он трудился сам и увлекал своим примером коллег. С любовью и отеческой заботой растил кадры, обеспечивал профессиональный рост своих сотрудников. Был организатором и первым деканом факультета Многоканальной Электрической Связи, причем, наверное, самым демократичным деканом – поскольку умел строго спросить со студента, но при этом никогда не унижал его достоинства. И сам активно читал лекции, готовил статьи, учебные пособия, преобразовывал кафедру (кроме линейных дисциплин на кафедре стали заниматься измерениями). Но работа в деканате, кажется, увлекала его больше всего: к нему постоянно

шли студенты и преподаватели, на каждой перемене собирался институтский народ. Решались самые разные вопросы: от рабочих учебных планов, перспектив развития факультета до стипендий студентам и материальной помощи всем нуждающимся в ней. С мнением Василия Павловича считались не только студенты, но и общественные организации, ректорат.

Факультет под руководством В.П. Пуккина практически всегда занимал первое место по всем показателям. Причем анализ его работы, который после каждого семестра проводил декан, был по качеству тождественен научному исследованию. За успехи в его трудовой деятельности ему были присвоены звания «Мастер связи» и «Заслуженный связист РФ». Во время коротких часов отдыха или праздников Василий Павлович тоже был на высоте: прекрасно пел, играл на баяне. А уж рассказчик был неповторимый – каждый, кто знал его, может сегодня с большим уважением и теплотой рассказать об этом.

Вот что вспоминает его первый ученик – профессор Борис Владимирович Попов: «Василий Павлович всегда заботился о сотрудниках кафедры. Под его руководством я выполнял дипломный проект по исследованию температурной зависимости параметров передачи симметричных кабелей связи. Работа требовала глубоких знаний по специальным разделам высшей математики – достаточно сказать о применении функций Бесселя. Только благодаря помощи Василия Павловича мне удалось освоить эти сложные вопросы. Именно тогда я почувствовал вкус к науке. Однако были и зигзаги в моей жизни – работая на кафедре ассистентом и будучи женатым, имея двух сыновей и достаточно малую зарплату, я получил предложение о переходе на должность заместителя директора техникума связи с более высоким окладом. Недолго думая, согласился – но Василий Павлович мое решение не одобрил, порекомендовал еще раз все хорошо обдумать и взвесить, подробно обрисовал суть предстоящей работы. Ровно сутки я думал и, наконец, взял бутылку коньяка и поехал с супругой Тамарой к нему домой. Хорошо «посидев», мы приняли согласованное решение: никогда не изменять науке, какие бы сложности, включая материальные, при этом ни возникали. До сих пор я благодарен Василию Павловичу за буквально отцовскую помощь в моей судьбе. Все, что я достиг в научной и педагогической деятельности – это результат работы со мной моих учителей: В.П. Пуккина и И.И. Гроднева».

Летом 1996 г. Василий Павлович ушел из жизни. До последних дней он трудился на кафедре, помогал молодым преподавателям осваивать педагогическое мастерство. Он много работал со студентами, и они его любили.

В 2017 году кафедре ЛС и ИТС исполнилось 50 лет. По этому поводу в ПГУТИ состоялась научно-практическая конференция, в которой участвовали преподаватели родственных кафедр МТУСИ, СПбГУТ им. Бонч-Бруевича, АО «Самарская кабельная компания», а также руководители и главные инженеры организаций Самары, занятых строительством линейных сооружений связи. По материалам конференции главный редактор С.А. Попов опубликовал статью в научно-техническом журнале «Первая миля». Практически во всех выступлениях на конференции красной нитью проходили воспоминания о Василии Павловиче, о его вкладе в развитие кафедры и университета. В конце текущего учебного года мы планируем провести научно-практическую конференцию, посвященную 90-летию со дня рождения В.П. Пуккина.

Имя Василия Павловича Пуккина живет в делах его учеников и учениках его учеников. Организованная им кафедра ЛС и ИТС ПГУТИ успешно развивается в учебных и научных направлениях, а также в творческом сотрудничестве с предприятиями связи.

Андреев В.А., Президент ПГУТИ,
Бурдин В.А., зав. кафедрой ЛС и ИТС,
Попов Б.В., профессор кафедры ЛС и ИТС