Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:41 Page 1

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА 2017

2-7 октября 2017 г.
г. Алушта
(Республика Крым)

Международный Форум «Микроэлектроника - 2017»

Приглашает Вас и Ваших сотрудников принять участие в Международной научной конференции: «Микроэлектроника - ЭКБ и электронные модули»

Задачи Форума: комплексно рассмотреть актуальные вопросы разработки, производства и применения отечественной электронной компонентной базы и высокоинтегрированных модулей.

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ: МИНПРОМТОРГ РОССИИ, Ростех, Росэлектроника, Союз машиностроителей России, Сколково, РАБОТАЙ В РОССИИ!

Оператор Форума: Компания «ПрофКонференции» • Тел.: +7 (495) 641-57-17 • Факс: +7 (495) 641-57-17 • E-mail: info@microelectronica.pro

ОРГАНИЗАТОРЫ: НИИМЭ, ПРОГРЕСС, МИЭТ, ПрсКонф

Генеральный информационный партнёр: ТЕХНОСФЕРА Рекламно-издательский центр

Подробная информация и регистрация участников на официальном сайте Форума: microelectronica.pro

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:41 Page 2

T•Comm
Телекоммуникации и транспорт
ТОМ 11. №9-2017

Журнал включен в перечень периодических научных изданий, рекомендуемый ВАК Минобразования России для публикации научных работ, отражающих основное научное содержание кандидатских и докторских диссертаций.

Учредитель
ООО "Издательский дом Медиа Паблишер"

Главный редактор
Тихвинский Валерий Олегович

Издатель
Дымкова Светлана Сергеевна
ds@media-publisher.ru

Редакционная коллегия

Аджемов Артём Сергеевич
(д.т.н., профессор МТУСИ), Россия

Анютин Александр Павлович
(д.ф.-м.н., профессор, член программного и оргкомитетов WSEAS), Россия, Мексика

Бугаев Александр Степанович
(академик РАН), Россия

Буслаев Александр Павлович
(д.ф-м.н., профессор МТУСИ), Россия

Вааль Альберт
(д.т.н., старший научный сотрудник Ганноверского университета им. Лейбница на кафедре коммуникационной техники), Германия

Головачев Юлиус
(управляющий консультант Detecon Intarnational GmBH), Германия

Гребенников Андрей Викторович
(Sumitomo Electric Europe), Великобритания

Дулкейтс Эрик
(д.т.н., старший исполнительный директор корпорации Detecon), Силиконовая долина, США

Елизаров Андрей Альбертович
(д.т.н., профессор МИЭМ, НИУ ВШЭ), Россия

Зубарев Юрий Борисович
(д.т.н., член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки РФ), Россия

Корбетт Ровэлл
(д.т.н., директор по исследованиям в научно-исследовательском центре China Mobile Research Institute, профессор университета Назарбаева), Гон-Конг (Китай), США

Кузовкова Татьяна Алексеевна
(д.э.н., декан экономического факультета МТУСИ), Россия

Омельянов Георгий Александрович
(д.ф.-м..н., Университет де Сонора, факультет математики, Эрмосильо), Мексика

Кюркчан Александр Гаврилович
(д.ф-м.н., профессор МТУСИ), Россия

Сеилов Шахмаран Журсинбекович
(д.э.н., Президент Казахской академии инфокоммуникаций), Казахстан

Сысоев Николай Николаевич
(д.ф-м.н., декан физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова), Россия

Шарп Майкл
(д.э.н., вице-президент европейского института стандартизации – ETSI), Великобритания

Яшина Марина Викторовна
(д.т.н., профессор, МТУСИ), Россия

СОДЕРЖАНИЕ

СВЯЗЬ

Будко П.А., Жуков Г.А.
Групповое использование робототехнических комплексов при выполнении миссий на глобальных удалениях от пункта управления 4

Васин Н.Н., Иванова Е.А.
Методика борьбы с перегрузками в сетях пакетной коммутации на основе нечеткой логики 15

Антонова В.М., Маликова Е.Е.
Исследование эффективности совместной передачи разнородного трафика в соте сети LTE 22

Козаченко Ю.М., Патрина Н.С.
Методическое обеспечение устойчивого функционирования сетей связи в условиях ЧС 26

ЭЛЕКТРОНИКА. РАДИОТЕХНИКА

Люкина Е.В., Чернышева Т.В., Литвин С.А., Яновский А.С.
Прогнозирующее моделирование при акустическом проектировании 31

Елизаров А.А., Нестеренко А.Н., Закирова Э.А., Кухаренко А.С.
Исследование микрополосковой антенны для RFID-технологии на круговой меандр-линии 37

УПРАВЛЕНИЕ

Щербакова Е.Н.
Актуальные вопросы построения сети связи общего пользования в России 43

Буренин А.Н., Легков К.Е.
Метод повышения эффективности функционирования на основе процедур оперативного управления структурой информационных подсистем 48

Доткулова А.С., Мосева М.С., Яшина М.В.
Особенности систем информационного сопровождения образовательного процесса в технических университетах 58

ПУБЛИКАЦИИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

СВЯЗЬ

Лернер И.М.
Аналитическая оценка пропускной способности канала связи с частотной характеристикой резонансного фильтра при наличии межсимвольных искажений и использовании многопозиционного фазоманипулированного сигнала 65

Степанов С.Н., Романов А.М.
Математическая модель линии доступа при обслуживании трафика реального времени и эластичного трафика данных 74

ИНФОРМАТИКА

Назаров А.Н.
Синтез функций защиты от кибер-атак 80

Кходер Х., Верхова Г.В., Акимов С.В.
Модульная технология проектирования гибких сложных систем 86

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:41 Page 3

CONTENT

COMMUNICATIONS

Budko P.A., Zhukov G.A.
Group use of robotic complexes when performing missions on global removals from control center
4

Vasin N.N., Ivanova E.A.
Overload control methods in packet switching networks based on fuzzy logic
15

Antonova V.M., Malikova E.E.
Aspects of the building a system of network synchronization signals in frequency, phase shift and time
22

Kozachenko Yu.M., Patrina N.S.
Methodological support of sustainable operation of communication networks in emergency situations
26

ELECTRONICS. RADIO ENGINEERING

Liukina E.V., Chernyshova T.V., Litvin S.A., Janovskiy A.S.
Prediction modeling for akusticheskm designing
31

Yelizarov A.A., Nesterenko A.N., Zakirova E.A., Kukharenko A.S.
Prediction modeling for akusticheskm designing
37

MANAGEMENT

Shcherbakova E.N.
Acute issues of the communication networks construction in Russia
43

Burenin A.N., Legkov K.E.
Method of improving the efficiency of functioning based on the procedures of operational management of information subsystems structure
48

Dotkulova A.S., Moseva M.S., Yashina M.V.
Features of the information support of educational process at the technical university
58

PUBLICATIONS IN ENGLISH

COMMUNICATIONS

Lerner I.M.
Analytical estimation of capacity of the communicational channel with the frequency response of the resonance filter in the presence of ISI and the use of PSK-n-signal
65

Stepanov S.N., Romanov A.M.
The mathematical model of access line serving real time traffic and elastic data
74

COMPUTER SCIENCE

Nazarov A.N.
Syntez of security functions against cyber-attacks
80

Khoder H., Verkhova G.V., Akimov S.V.
Modular technology in design of flexible complex systems
86

T•Comm
Telecommunications and transport
Volum 11. №9-2017

The journal is included in the list of scientific publications, recommended Higher Attestation Commission Russian Ministry of Education for the publication of scientific works, which reflect the basic scientific content of candidate and doctoral theses.

Founder
"Media Publisher", Ltd.

Publisher
Dymkova Svetlana S.
ds@media-publisher.ru

Editor in Chief
Dr. Valery O. Tikhvinskiy

Editorial board

Adzhemov Artem S.
Doctor of sciences., Professor MTUCI, Russia

Anyutin Alexander P.
Doctor of sciences., Professor , member of the program and organizing committee WSEAS, Russia, Mexico

Bugaev Alexander S.
Academician of the RAS, Russia

Buslaev Alexander P.
Doctor of sciences., Professor MTUCI, Russia

Corbett Rowell
Full Professor: Electronic & Electrical Engineering Nazarbayev University, Hong Kong (China), USA

Golovachyov Julius
Managing Consultant Detecon Intarnational GmBH, Germany

Grebennikov Andrey
Ph.D., Sumitomo Electric Europe, United Kingdom

Dulkeyts Eric
Ph.D., chief executive officer of the corporation Detecon, USA

Kuzovkova Tatyana A.
PhD, Dean of the Faculty of Economics MTUCI, Russia

Kyurkchan Alexander G.
Doctor of sciences, Professor MTUCI, Russia

Omel'yanov Georgii A.
PhD, Universidad de Sonora, Department of Mathematics, Hermosillo, Mexico

Seilov Shakhmaran Zh.
PhD, President of the Kazakh Academy of Infocomm, Kazakhstan

Sharpe Michael
PhD, vice-president of the European Standards Institute – ETSI, United Kingdom

Sysoev Nikolai N.
Doctor of sciences., Dean of the Faculty of Physics of Moscow State University. Lomonosov, Russia

Waal Albert
Ph.D., Senior Research Fellow University of Hanover. Leibniz at the Department of Communications Technology, Germany

Yashina Marina V.
Doctor of sciences, Professor MTUCI, Russia

Yelizarov Andrey A.
Doctor of sciences., Professor MIEM, HSE, Russia

Zubarev Yuri B.
Ph.D., corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of Russia, Russia

All artocles and illustrations are copyryght. All rights reserved. No reproduction is permitted in whole or part without the express consent of Media Publisher Joint-Stock Company

© "Media Publisher", 2017

www.media-publisher.ru

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:42 Page 4

СВЯЗЬ

ГРУППОВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ МИССИЙ НА ГЛОБАЛЬНЫХ УДАЛЕНИЯХ ОТ ПУНКТА УПРАВЛЕНИЯ

Будко Павел Александрович,
ПАО "Информационные телекоммуникационные технологии", Санкт-Петербург, Россия,
budko62@mail.ru

Жуков Геннадий Анатольевич,
ПАО "Информационные телекоммуникационные технологии", Санкт-Петербург, Россия,
intelteh@inteltech.ru

Ключевые слова: *робототехнический комплекс, канал космической связи, декаметровая радиолиния, гидроакустическая связь, эффект Доплера.*

Рассмотрены вопросы выбора методов и каналов управления робототехническими комплексами морского базирования, как связующего звена единого информационно-управляющего пространства различных физических сред. Предложено совместное использование радиолиний разных диапазонов волн, позволяющее обеспечить устойчивое доведение команд управления до робототехнических комплексов, находящихся как в надводном, так и в подводном (подледном) положении. Проанализированы возможности каналов космической, оптической (лазерной), гидроакустической и параметрической связи, а также дана сравнительная оценка каналов радиосвязи декаметровых и сверхдлинных волн по доведению информации до робототехнического комплекса, находящегося на глобальном удалении от пункта управления. Оценены возможности смешанных группировок робототехнических комплексов, действующих в разных средах (космос, воздух, вода) по повышению эффективности выполнения заданной миссии. Рассмотрены возможные методы информационного взаимодействия между подводными аппаратами и дана оценка максимальной дальности при обмене данными между глубокопогруженными объектами по гидроакустическому каналу. Выявлены возникающие трудности в обосновании вариантов построения распределенных систем управления смешанными группами робототехнических комплексов, заключающиеся в невозможности обеспечения необходимой устойчивости каналов управления и взаимодействия в группе на границах физических сред, а также малыми дальностями в обеспечении гидроакустической связи. Дана сравнительная характеристика основных типов модемов гидроакустической связи отечественных и зарубежных производителей. Сформулированы предложения по дальнейшему увеличению дальности гидроакустической связи за счет снижения скорости передачи и применения гидроакустических модемов "параллельного типа". Приведены расчеты рационального числа робототехнических комплексов, действующих в группе. Сделан вывод о том, что существенное повышение эффективности действий смешанной робототехнической группировки достигается наряду с комплексным использованием разнородных каналов управления при нахождении робототехнических комплексов в различных средах, применением методов, основанных на современных технологиях программируемого радио с элементами когнитивных радиосистем, искусственного интеллекта и нейробионики при обработке принимаемой информации в ходе интенсивного информационного взаимодействии на основе общих баз данных распределенных систем.

Информация об авторах:
Будко Павел Александрович, главный научный сотрудник ПАО "Информационные телекоммуникационные технологии", д.т.н., профессор, Санкт-Петербург, Россия
Жуков Геннадий Анатольевич, ученый секретарь ПАО "Информационные телекоммуникационные технологии", к.т.н., доцент, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования:
Будко П.А., Жуков Г.А. Групповое использование робототехнических комплексов при выполнении миссий на глобальных удалениях от пункта управления // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №9. С. 4-14.

For citation:
Budko P.A., Zhukov G.A. (2017). Group use of robotic complexes when performing missions on global removals from control center. *T-Comm*, vol. 11, no.9, pp. 4-14. (*in Russian*)

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:42 Page 5

Введение

Значительный технологический прогресс в области создания новых сверхпрочных материалов, малогабаритных энергоемких источников электропитания, нейрокомпьютеров, базовых элементов искусственного интеллекта позволяют в настоящее время создать автономные робототехнические комплексы (РТК) широкого спектра применения [1]. При этом задачи, возлагаемые на РТК, с каждым годом все более усложняются. И если на заре зарождения робототехники РТК был ориентирован на решение конкретной задачи (операции) в офисе, в цеху, на транспорте, в непосредственной близости от оператора, то сегодня на РТК возлагаются распределенные миссии, решаемые на глобальном удалении от объекта управления. Причем важность выполнения возлагаемых на РТК миссий зачастую требует от проектировщика обеспечить универсальность его функционирования в различных средах (на земле, в воздухе, под водой и в космосе), что само по себе является сложнейшей задачей, либо разработки смешанной робототехнической группировки, взаимодействующей в едином информационно-управляющем пространстве (поле) (ЕИУП), что вполне достижимо уже сегодня, опираясь на принципы сетецентрического управления [2].

Исследования в указанных направлениях в настоящее время активно проводятся во многих ведущих странах мира. В частности в США в рамках программ, финансируемых DARPA, разрабатываются теоретические и практические основы создания мобильных робототехнических группировок (РТГ), способных взаимодействовать друг с другом при выполнении сложных миссий, в том числе при решении тактических боевых и разведывательных задач [3]. При этом полагается, что создание смешанных РТГ, включающих в свой состав роботов, функционирующих в различных физических средах, позволит значительно повысить эффективность выполнения поставленных задач в ЕИУП.

Цель статьи: выбор методов и каналов управления смешанными робототехническими группировками, обеспечивающих увеличение дальности взаимодействия в распределенных группах, в различных средах функционирования.

1. Морские РТК как связующее звено ЕИУП всех физических сред

Анализ доступных библиографических источников в данной предметной области показывает, что на фоне бурного развития беспилотных космических (БПКА), воздушных (БПЛА) и наземных аппаратов и роботов наименее освещёнными являются смежные приложения РТК морского базирования (МБ) [1-4]. При этом именно на море могут быть в полной мере применимы смешанные робототехнические группировки с задачами освещения обстановки во всех средах (под водой, над водой, в воздухе, в космосе и на берегу) в рамках единого информационно-управляющего поля. Но именно морская среда обладает еще не до конца изученными переменными параметрами, затрудняющими устойчивый обмен данными как на больших глубинах, так и на разделе двух сред [5].

К основному перечню задач, решаемых РТК МБ можно отнести:

измерение характеристик водной среды в различных точках водного пространства и на различных глубинах;

экологический мониторинг, в том числе наблюдение за изменением флоры и фауны в заданной акватории;

донная геологоразведка в труднодоступных районах мирового океана и в арктическом регионе, в том числе в подледном положении;

поиск затонувших объектов и их обследование;

фото и видеосъемка в интересах НИР, промысловых и военных целях;

обслуживание коммуникаций портов;

патрулирование водных рубежей и объектов;

подводное обследование корпусов судов, буровых платформ, газо- и нефтетрубопроводов и кабельных трасс различного назначения;

освещение прибрежной, надводной, подводной и воздушной обстановки в заданном водном районе;

установка радиомаяков на стационарные и мобильные подводные объекты;

обнаружение и уничтожение минных полей;

установка минных заграждений;

ведение информационной борьбы путем создания ложных целей и расстановки радио и гидроакустических помех;

ведение противолодочной разведки и пр. [1-4].

Расширение территориальных зон применения и усложнение задач, решаемых РТК в интересах гражданских и военных ведомств, потребовало разработки автономных интеллектуальных систем управления РТК МБ [6-8]. Так в работе [7] представлены положительные результаты моделирования и экспериментальной проверки метода нейросетевого управления искусственным интеллектом, применительно к РТК. Реализация метода обеспечила возможность автоматического обхода автономным аппаратом препятствий с последующим возвращением на заданный маршрут.

2. Повышение эффективности выполнения миссии в группе РКТ

Дальнейшее повышение эффективности РТК МБ может быть достигнуто за счет их группового использования, а также взаимодействия в смешанной группе (по различным средам функционирования: подводные, надводные, воздушные, космические). Например, это позволит при проведении аварийно-спасательных работ или поиске затонувших объектов, представляющих опасность химического или радиоактивного заражения окружающей среды, резко сократить время указанных операций, а в случае охраны протяженного периметра водной границы или поиска движущегося подводного объекта задействование группы РТК МБ становится полностью оправданным [6-9].

При проведении как одиночных, так и групповых миссий РТК МБ независимо от наличия заложенной в них жесткой или интеллектуальной программы функционирования, необходимо обеспечение устойчивого взаимодействия комплекса с базовым пунктом управления (БПУ), а при групповой миссии также гарантированную надежность обмена данными между РТК группы. Потеря возможности управления РТК МБ с БПУ, или обмена информацией внутри группы РТК, особенно при выполнении специальных задач, может привести как минимум, к потере РТК, а как максимум, к непредсказуемым последствиям.

Существенное повышение эффективности действий такой смешанной робототехнической группировки достигается наряду с комплексным использованием разнородных каналов управления при нахождении РТК в различных средах, приме-

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:42 Page 6

нением методов, основанных на современных CRS и SDR-технологиях с элементами искусственного интеллекта и нейробионики при обработке принимаемой информации в ходе интенсивного информационного взаимодействии на основе общих баз данных и знаний распределенных систем.

3. Обмен данными с РТК в надводном положении

В настоящее время взаимодействие с РТК в надводном положении обеспечивается в основном, с использованием спутниковой системы связи, Wi-Fi и гидроакустической связи, а между РТК (или между БПУ и РТК) по гидроакустическому каналу. Однако при этом задача по реализации устойчивого обмена данными с глобально удаленными РТК от БПУ не решена в полной мере [3]. Рассмотрим возможные методы повышения вероятностно-временных характеристик информационного обмена с РТК МБ, находящимися в надводном положении. Этот режим относится к автономным управляемым кораблям (катерам) и к РТК в надводном положении.

3.1. Канал спутниковой связи

Безусловно, в этом случае основным видом связи следует считать спутниковый канал обмена данными. В настоящее время в рамках федеральной космической программы РФ до 2015 г. разработана и развертывается многофункциональная система персональной спутниковой связи (МСПСС) «Гонец-Д1М». Основные технические характеристики абонентского терминала этой системы приведены в таблице 1 с учетом материалов, представленных в [10].

Таблица 1

Диапазон частот, ГГц	0,3-0,4
Максимальная скорость передачи информации, кбит/с: бортовой комплекс – абонентский терминал; абонентский терминал – бортовой комплекс	76,8 9,6
Мощность абонентского передатчика, Вт	10
Объем сообщения, передаваемого в сеансе связи, кбайт	до 20
Диаграмма направленности антенны абонентского комплекта	всенаправленная (антенна не требует системы наведения и сопровождения с учетом траектории движения космического аппарата)
Устойчивость к воздействию внешних факторов	пониженное атмосферное давление, соляной туман, пыль, песок, иней, дождь. Для реализации дополнительных требований комплект размещается в специальном защищенном корпусе (включая антенную систему)
Основные режимы работы МСПСС «Гонец-ДМ1»:	обмен сообщениями между абонентами системы, находящимися в любой точке Земного шара; передача данных о местоположении абонентов, полученных с использованием системы ГЛОНАС; циркулярная передача сообщений группе пользователей
Напряжение электропитания, В	12
Минимальная масса абонентского комплекта, кг	0,4

Таким образом, малые массогабаритные показатели МСПСС «Гонец-ДМ1» и низкое энергопотребление, а также его возможности по организации связи с абонентами, находящимися на глобальных расстояниях от БПУ, оправдывает его применимость в составе РТК на радиолиниях (РЛ) «берег-море-берег». Вместе с тем, в условиях сильного волнения моря (заливание водой антенны), при нахождении РТК в подледном положении, а также выхода из строя элементов в тракте спутниковой связи, эффективность её применения представляется проблематичной.

3.2. Сравнение каналов радиосвязи декаметровых и свердлинных волн

Учитывая возможность глобального перемещения РТК (в 2009 году экспериментальный глайдер США менее чем за 7,5 месяцев пересек Атлантический океан, преодолев при этом около 11,7 тыс. км [7]) в качестве резервной связи целесообразно использовать РЛ декаметровых (ДКМ) и сверхдлинных волн (СДВ), обеспечивающие возможность доведения информации в дальнюю морскую и океанскую зоны. При этом для выбора энергетики РЛ, помимо параметров антенно-фидерных подсистем (АФПС) передатчика (и приемника) и эффективности сигнально-кодовых конструкций передаваемых сообщений, необходимо учитывать как характеристики среды РРВ, так и воздействие атмосферных шумов и помех естественного и искусственного характера.

На рисунке 1 представлена в графическом виде область, в которой с вероятностью $P > 0{,}99$ находятся коэффициенты внешнего шума F_a, для СДВ – ДКМ диапазонов частот. При этом среднеквадратичное значение напряженности поля шумов в децибелах (относительно мкВ/м) определяется выражением [11]:

$$E_п = F_a + 20 \log f_c + 10 \log \Delta f_c - 95{,}5 , \qquad (1)$$

где $F_a = 10\log\left(P_a^ш / kT_o\right)$; $P_a^ш$ – мощность атмосферных шумов в полосе сигнала (Ватт); Δf_c – ширина полосы принимаемого сигнала (Гц); f_c – «несущая» частота сигнала (МГц); k – постоянная Больцмана; T_o – эталонная температура (290° К).

На рисунке 2 приведены графики зависимости уровня $E_п$ для различных значений Δf_c и f_c, рассчитанные с использованием формулы (1) для верхней границы коэффициента внешнего шума F_a (см. рис. 1, пунктирная кривая).

Из анализа графиков рис. 2 и формулы (1) следует, что для повышения надежности связи в условиях естественных помех необходимо увеличивать мощность передачи сообщения или уменьшать полосу излучаемого сигнала.

Оценку значений необходимой мощности излучения для обеспечения устойчивого приема на радиотрассах протяженностью до 1 тыс. км для ближней морской зоны можно провести с использованием графиков, представленных в [12].

На рисунке 3 приведен график значений напряженности поля для нескольких номиналов частот СДВ-ДКМ диапазонов волн, характеризующих ближнюю морскую зону (заштрихованные области соответствуют уровням напряженности поля атмосферных шумов, ожидаемых с вероятностью P>0,99).

На рисунке 4 приведены аналогичные графики для трасс протяженностью более 1 тыс. км (ионосферное распространение радиоволн – РВ).

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:43 Page 7

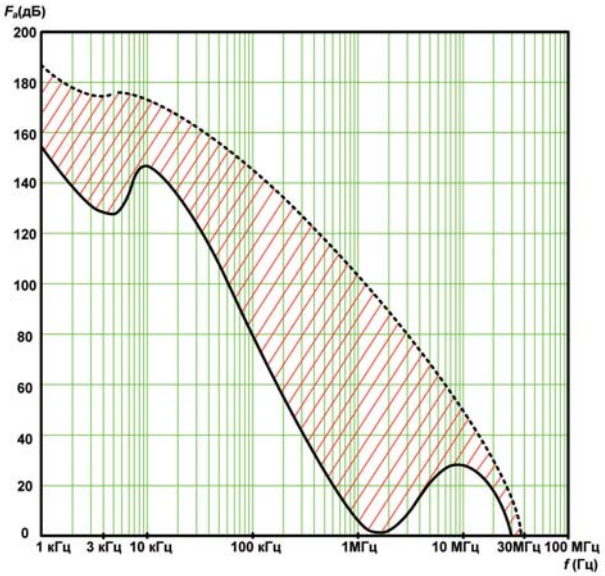


Рис. 1. Значения коэффициентов внешнего шума [19]

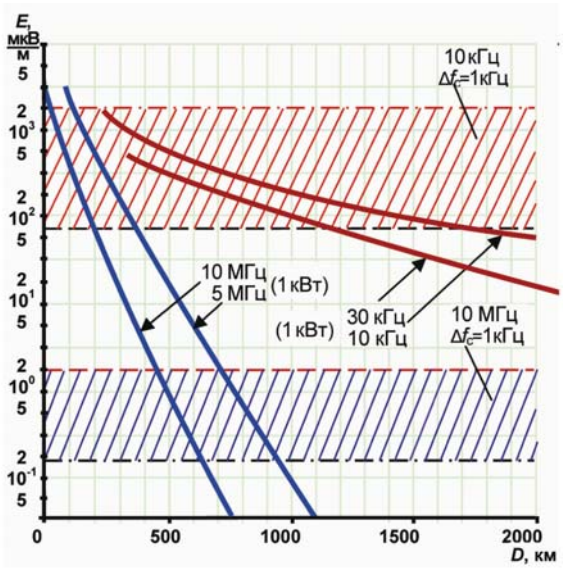


Рис. 3. Значения напряженности поля сигнала для ближней морской зоны

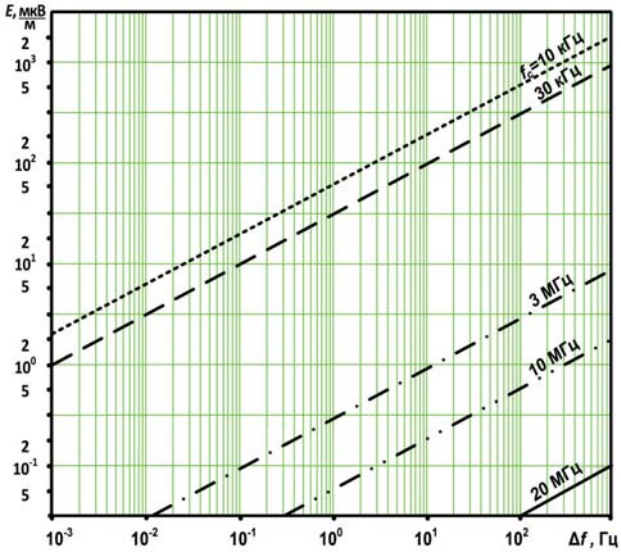


Рис. 2. Зависимость напряженности поля шумов от частотной полосы приема

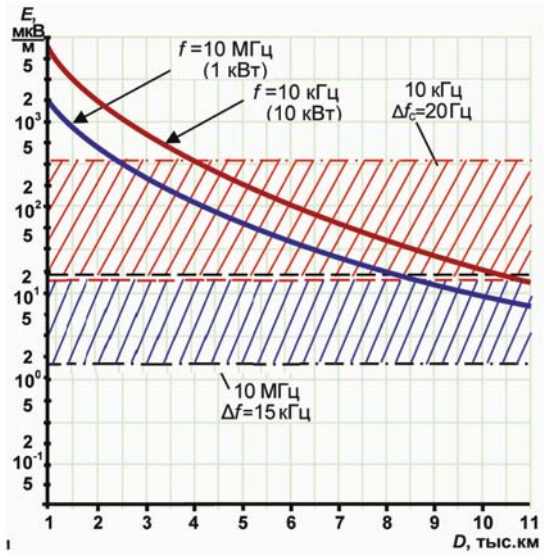


Рис. 4. Значения напряженности поля сигнала при ионосферном распространении СДВ-ДКМ волн

Для ДКМ диапазона расчет проводился с использованием полуэмпирической формулы Неволина-Щепотина, полученной на основе усреднения медианных значений напряженности поля для морских трасс при работе на оптимальных частотах [13]:

$$E = \frac{122}{r_т}\sqrt{\frac{PD}{0{,}0021+\sin\theta}}\exp\left(-\frac{3{,}8\cdot 10^{-2}}{\lambda^{0{,}2}}r_т\right), \qquad (2)$$

где P – мощность излучения сигнала (кВт); D – коэффициент усиления антенны; $r_т$ – дальность трассы (тыс. км); θ^o – угловое расстояние между пунктами приема и передачи; λ – длина излучаемой волны (м).

Расчеты для частот СДВ диапазона проводились по модифицированной формуле Остина, [12, 14]

$$E = 120\sqrt{\frac{PD}{r_т\sin\theta}}\exp\left(-0{,}0457\,f^{0{,}6}r_т\right), \qquad (3)$$

где f – частота излучения сигнала в кГц.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:44 Page 8

Отметим, что необходимую мощность излучения для достижения требуемой напряженности поля $E_{тр}$ можно определить из соотношения $P_{н} = \left(\frac{E_{тр}}{E}\right)^2$, кВт, где значение E, соответствующее заданной протяженности трассы, берется из графиков рис. 3 (4) или определяется по формулам 2 (3) при $D = 1$ и $P = 1$ кВт.

Красной пунктирной линией на графике рис. 4 приведено максимально ожидаемое значение напряженности поля атмосферных шумов, соответствующее величине $\Delta f_c \approx 15$ кГц ($f_c = 10$ МГц), а штрихпунктирной черной – минимально ожидаемое значение $E_{п}$ для тех же значений Δf_c и f_c.

Из анализа графика следует, что в отсутствии случайных (преднамеренных) помех в ДКМ диапазоне волн, даже на радиотрассах с глобальной протяженностью может быть достигнута значительная скорость передачи информации. Так для трассы с $r \approx 6$ тыс. км и мощности излучения сигнала $P_c \approx 1$ кВт, исходя из соотношения [15]:

$$V = \log_2\left(1 + \frac{P_c}{\Delta f_c N_o}\right)^{\Delta f_c}, \qquad (4)$$

где V – скорость передачи, N_o – спектральная плотность шума, получим следующий диапазон возможных скоростей передачи для рассматриваемого случая: $V_{min \div max} \approx 10 \div 150$ кбит/с, что позволяет обеспечить доведение формуляра по коррекции программы миссии РТК в реальном масштабе времени.

Оперативность управления РТК по СДВ каналу существенно ниже. Например, даже при минимально ожидаемом уровне атмосферных помех (рис. 4, черная пунктирная линия) скорость передачи для достоверного доведения команды до РТК для $r \approx 6$ тыс. км и $P_c \approx 10$ кВт составит примерно $V \approx 80 \div 90$ бит/с. Из анализа, проведенного в [16], а также представленных формул и графиков следует, что достоверное доведение информации до удаленных РТК в СДВ диапазоне волн при скорости передачи до 10 бит/с ($\Delta f_c \approx 10$ Гц) может быть обеспечено только при $P_c \geq 100$ кВт, а в ДКМ даже при $V \approx 300 \div 500$ бит/с потребуется $P_c > 500$ Вт.

Таким образом, при использовании ДКМ РЛ обеспечивается возможность доведения информации до удаленных РТК при мощности излучения меньшей, чем при использовании СДВ радиолиний при этом реализуется более высокая скорость передачи. Однако, преимуществом СДВ РЛ является относительная стабильность РРВ при возмущениях ионосферы, а также существенно меньший коэффициент ослабления напряженности поля при распространении в водной среде, что позволяет обеспечивать прием информации при заливании антенны водой, а также в подледном и подводном положении (до $15 \div 20$ м) в случае использовании плоскостных ферритовых активных антенн. Исходя из этого, в качестве резервной связи целесообразно использовать передачу данных по СДВ и ДКМ радиолиниям, особенно в случае неполной информации о координатах и техническом состоянии РТК.

4. Методы доведения информации до глубокопогруженных объектов

При нахождении РТК МБ в подводном положении на глубине более 15 –20 м связь с ним без выпускного антенного устройства или буя-ретранслятора даже по СДВ радиоканалу, как было показано выше, не обеспечивается. В то же время, установка таких устройств на РТК МБ проблематична.

Для решения задачи по доведению информации до глубокопогруженных объектов специалистами предлагается использование различных видов и методов связи, в том числе: оптической, гидроакустической, параметрической, электромагнитной связи, а также теневых методов приема гидроакустических волн.

4.1. Каналы оптической (лазерной) связи

Значительно меньшим коэффициентом затухания в водной среде, чем радиоволны СДВ диапазона, обладают волны оптического (сине-зеленый спектр) диапазона частот (рис. 5), что позволяет использовать *лазерную связь* (ЛС) в этом спектре для взаимодействия с подводными объектами при задействовании в группе БПКА или БПЛА- ретрансляторов, в том числе с использованием теневых приборов, рис. 6 [17, 18].

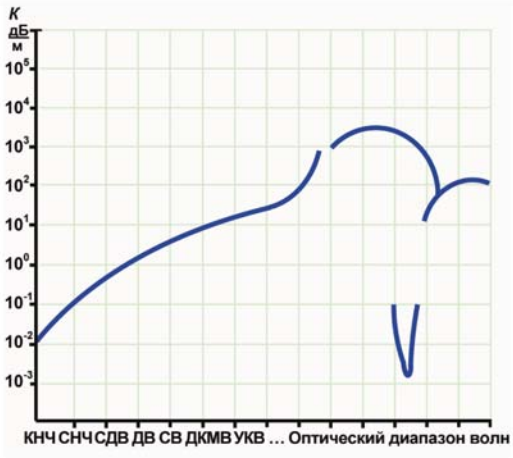


Рис. 5. Значения коэффициента ослабления волн различного диапазона в водной среде

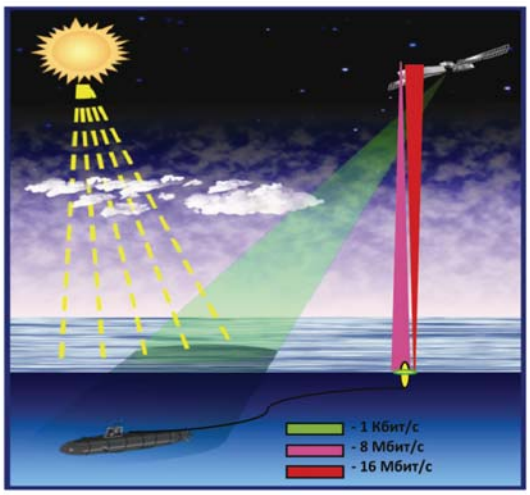


Рис. 6. Применимость каналов оптической связи в рассеянном свете [17]

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:44 Page 9

Однако применение ЛС с глобально перемещающимися РТК технически и экономически на сегодня недостаточно оправдано. Это объясняется сравнительно большими габаритами входного модуля оптического приемника и необходимостью точной ориентации его диаграммы направленности (ДН) на источник лазерного излучения. В то же время, автономные малогабаритные навигационные устройства, предназначенные для определения координат РТК в процессе его подводного перемещения, не обеспечивают приемлемую точность определения местоположения в течение выполнения длительной миссии, вследствие чего подводному аппарату периодически необходимо осуществлять определение реальных координат путем всплытия и реализации взаимодействия с системой ГЛОНАС (GPS).

Очевидно, что в этом случае обмен данными с базовой станцией может быть организован по основному (спутниковому) каналу обмена данными без задействования оптического канала связи. Кроме того, для надежной ЛС с использованием БПКА (БПЛА-ретрансляторов) при доведении информации до погруженных РТК необходимо выполнение ряда условий, таких как низкая мутность воды, высокая прозрачность льда, отсутствие экстремальных погодных условий (снегопад, «густой» туман, сильный дождь), что реально не может быть обеспечено при длительной миссии РТК.

4.2. Каналы параметрической связи

В работе [19] предлагается обеспечить доведение информации до глубокопогруженных подводных объектов за счет использования эффекта *параметрического* взаимодействия электромагнитной и акустической волн с близкими частотами $f_э$ и $f_а$. В поверхностном слое воды (скин-слое) в этом случае, как утверждают авторы, формируется новый промодулированный электромагнитный сигнал с разностной частотой $f_р = f_э - f_а << f_э$, что позволяет этому сигналу из-за малого коэффициента ослабления в воде обеспечить допустимое соотношение сигнал/шум на значительных глубинах (порядка 150 м [19]).

Однако в настоящее время исследования по возможности реализации рассмотренного метода, по крайней мере, для подводной связи с РТК, проводить нецелесообразно, поскольку на подводных аппаратах с ограниченными размерами и энергоресурсами следует использовать малогабаритные активные антенные системы, эффективность которых при приеме сигналов с частотой $f_р << 10$ кГц становится недопустимо низкой.

4.3. Канал гидроакустической связи

Обмен данными с глубокопогруженными (до 100 м и более) аппаратами при их удалении от надводного (подводного) пункта базирования (надводного корабля – НК, подводной лодки – ПЛ) на расстояние до 10 км обеспечивается, как правило, путем использования *гидроакустической связи* (ГАС). Для звуковых частот в диапазоне $f_э \approx 10 \div 50$ кГц (характерных для ГАС), в зависимости от солености, температуры воды и гидрологии морского района коэффициент ослабления гидроакустической волны α составляет до 10 дБ/км и более. Поэтому на значительном удалениях от БПУ при организации подводной ГАС, ввиду ограниченной мощности гидроакустических излучателей на РТК, необходимо обеспечить помимо оптимальной сигнально-кодовой конструкции передаваемой информации, высокую чувствительность приемника акустического сигнала.

Необходимо отметить, что в современных и перспективных проектах РТК МБ для решения задачи по их взаимодействию с другими подводными аппаратами (буями-ретрансляторами) в состав интегрированной системы управления (ИСУ) подводного аппарата в обязательном порядке входит подсистема ГАС. Это обусловлено широким внедрением технологии цифровой обработки сигналов, позволившей реализовать гидроакустические модемы, обеспечивающие функционирование при многолучевом распространении акустического сигнала и при воздействии помех от посторонних излучателей.

Гидроакустические приемные и передающие антенны обеспечиваются системой цифрового синтеза адаптивных диаграмм направленности, а при формировании сигнально-кодовых конструкций передаваемого сообщения используются широкополосные сигналы и помехоустойчивые коды, что позволяет в реальных условиях достичь высоких скоростей передачи данных и требуемой вероятности доведения информации при значительных расстояниях между взаимодействующими объектами под водой. Сравнительные характеристики нескольких типов модемов ГАС приведены в таблице 3 [20].

Таблица 3

Параметры модема	S2C R 8/16 Германия	S2C R 40/80 Германия	Acoustic Modem Германия	UWM 2000H США	ВСГС Россия (АО «НИИ Гидросвязи «Штиль»)	ГАСС Россия (ДВО РАН)
Дальность действия, км	10,0	2,5	30	6,0	10,5	8,0
Максимальная скорость передачи данных, кбит/с	6,9	35,7	0,145	17,8	57,6	4
Частота излучения, кГц	8 ÷ 16	40 ÷ 80	-	26,77÷ ÷44,62	18,75 ÷ 42,75	16 ÷ 20
Вероятность ошибки	-	-	-	10^{-9}	10^{-9}	-
Вес модема, кг	4,2	2,1	-	-	-	-

Отметим, что гидроакустические модемы предыдущего поколения (аналоговые) при той же мощности излучения, что, например, модем ГАСС, обеспечивали на дальностях до 1,5 ÷ 2 км скорость передачи 200 ÷ 400 бит/с, имея при этом в 2 ÷ 4 раза большие массогабаритные показатели.

5. Управление смешанными робототехническими группировками при выполнении миссии на глобальных расстояниях

При оценке вероятности выполнения миссии, требующей глобального удаления РТГ от места базирования (т. е. многосуточного подводного похода), необходимо учесть возможность деградации основных элементов РТК, несовместимой с успешным завершением миссии, обусловленной параметрами надежности элементов аппарата, случайными его повреждениями, в том числе вследствие столкновений с крупными объектами или представителями морской фауны, айсбергами, рыболовными сетями и т. п., не исключая умышленных повреждений или уничтожения. Причем вероятность выполнения миссии $P_{вм}$ будет уменьшаться в зависимости от увеличе-

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:44 Page 10

ния количества всплытий для уточнения координат и проведения сеансов связи с БПУ. Отсюда с очевидностью следует необходимость реализации искусственного интеллекта в интегрированной системе управления РТК, позволяющей обеспечить оптимальную трассу перемещения, и её коррекцию в случае наличия незапланированных (случайных) препятствий или угроз. Тем не менее, вследствие указанных факторов при одиночном выполнении миссии, особенно конфиденциальной, $P_{вм}$ может оказаться неприемлемо низкой. Вместе с тем, при групповом использовании РТК для достижения требуемого значения $P_{вм}$ достаточно задействовать количество аппаратов N, определяемое из неравенства:

$$N \geq \left| \frac{\log(1 - P_{вм})}{\log(1 - P_1)} \right|,$$

где P_1 – вероятность выполнения миссии одним РТК.

То есть, даже при $P_1 \approx 0{,}9$ для достижения $P_{вм} \geq 0{,}999$ ориентировочно потребуется не более трех-четырех идентично оснащенных и имеющих одинаковую целевую функцию РТК. При этом возможно два варианта их перемещения в заданный удаленный район мирового океана:

I вариант – независимое прохождение маршрута каждым РТК;

II вариант – групповое выполнение миссии, подразумевающее реализацию «интеллектуального» взаимодействия РТК в процессе совместного перехода в заданный район, в т. ч. и в других средах.

В ряде работ [2, 3, 7, 15] для обеспечения живучести подводных объектов (РТК, ПЛ, глайдеров и пр.) предлагается создавать сети подводной интегрированной связи (СПИС) с реализацией составного радио-гидроакустического канала в направлении пункт управления – подводный объект. Так предлагаемый АО «НИИ Гидросвязи «Штиль» вариант построения СПИС реализуется на базе нескольких автономных донных линий связи, каждая из которых состоит из промежуточных пунктов доступа и концевых гидроакустических модемов, объединенных оптоволоконной линией связи. Взаимодействие сети связи с БПУ осуществляется по радиоканалу через автономный гидроакустический буй-ретранслятор, входящий в её состав. Вместе с тем, при необходимости развёртывания такой СПИС в отдалённых районах ограничивающими факторами могут оказаться сложность, безопасность и стоимость её развёртывания, а также ограниченность дальности взаимодействия с РТК.

Одним из решений при реализации миссии РТК по мониторингу удаленных районов мирового океана может служить создание международной сети малогабаритных буев-ретрансляторов. Однако, решение этой задачи в ближайшее время маловероятно из-за экономических и военно-политических причин.

Таким образом, представляется целесообразным возложить функции обмена данными с БПУ на сами РТК.

Исходя из этого, в случае выполнения групповой миссии РТК по варианту I суммарное число взаимодействий с БПУ (количество всплытий) за время выполнения миссии составит $M_I = N \cdot k$, где k – число заданных сеансов связи с РТК, а по варианту II, $M_{II} = k < M_I$, что в ряде случаев, может оказаться определяющим фактором его использования.

В соответствии с одним из возможных алгоритмов миссии РТК в составе N идентичных аппаратов, на начальном этапе назначается РТК-«Лидер» (РТК-Л), осуществляющий координацию функционирования остальных РТК. При этом программы текущих действий группы хранятся параллельно в базах данных каждого РТК и периодически взаимно обновляются по каналу ГАС.

РТК-Л при необходимости взаимодействия с БПУ или для уточнения координат группы реализует «назначение» буем радио-гидро-ретранслятором одного РТК из группы по расписанию либо по оценке их основных параметров. Для проведения следующего сеанса связи, по ряду показателей ретранслятором может быть определен другой РТК (аналогично, по ряду показателей в процессе выполнения миссии автоматически может быть переназначен РТК-Л).

В зависимости от решаемых группировкой РТК задач, рельефа донной поверхности, наличия внешней угрозы и т. п. РТК-Л может также «принять» решение на реализацию максимального удаления от аппарата, выполняющего функцию буя-ретранслятора; при этом максимальное удаление от него до РТК-Л составит $L_{max} = (n - 1)\, l_{max}$, где l_{max} – максимальная дальность связи, реализуемая по каналу ГАС. То есть при заданном N для получения максимального значения L_{max} требуется обеспечить возможно больший показатель для l_{max}.

Как следует из таблицы 3 для современных модемов заявляемая максимальная дальность гидроакустической связи составляет до 30 км. Однако, в настоящее время к подсистеме ГАС, в значительной степени определяющей успешность выполняемых РТК специальных заданий, предъявляются более высокие требования по максимально достижимым значениям l_{max}.

6. Оценка максимальной дальности при обмене данными между РТК

Для оценки энергетической дальности действия гидроакустической системы в различных режимах её функционирования (эхо-локации, шумопеленгования, телеметрии), как правило, используется общее уравнение, которое применительно к ГАС можно представить в виде [20, 21], где $p_{п}(f_p, \Delta f_p)$ – давление помехи в рабочей полосе частот Δf_p; p_o – давление, развиваемое передающей антенной с излучаемой мощностью $P_{изл}$ на условном расстоянии r_o; и $D_{з}(\varphi)$ – характеристики направленности передающей и приемной антенн соответственно; p_{u} – давление, создаваемое источником излучения на удалении $r_0 = 1$; h^2 – отношение энергии сигнала к спектральной плотности помех; R – расстояние между гидроакустическими передатчиком и приемником; $f_э$ – эквивалентная рабочая частота передаваемого сигнала; β – пространственный коэффициент затухания звуковых волн в воде; $A_Ф = 10 \lg Ф$ – фактор аномалии распространения звуковых волн, учитывающий фокусировку ($Ф < 1$) и дефокусировку ($Ф > 1$) акустического поля.

В [21] показано, что с учетом частотных зависимостей уровня шумов моря и затухания сигнала для трансцендентного уравнения (5) существует оптимальное значение рабочей частоты $f_э$, для которой при фиксированных параметрах гидроакустического тракта связи (включая передающий и приемный комплекты) обеспечивается максимальная дальность связи.

Так для антенн плоскостного типа при спектральной плотности помех вида $G(f) \sim f^{-n}$, где $n = 1 \div 2$, значение оптимальной частоты составит: $f_{опт} \approx n' R^{-2/3} 10^3$ кГц, где $n' \approx 1{,}9 \div 3$, т.е. для $R \approx 50 \div 100$ км значения оптимальной частоты будет находить-

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:45 Page 11

ся в диапазоне $f_{опт} \approx 0{,}9 \div 2{,}2$ кГц. Близкие значения $f_{опт}$ получаются и при использовании антенны линейного типа, для которых в этом случае габаритные размеры составят более 1,5÷3 м, что может создать значительные конструктивные трудности, а в ряде случаев и отказ от установки таких гидроакустических антенн на мало- и среднегабаритных РТК.

Переход на более высокие частоты излучения, в силу уменьшения габаритов антенных элементов, позволит устанавливать на РТК фазируемые адаптивные решетки (ФАР), обеспечивающие подавление помех от посторонних излучателей (уменьшая значения $p_п$) и увеличение коэффициента $D_2(\varphi)$ в направлении на полезный сигнал, реализуя возможность увеличения дальности связи.

В предположении отсутствия (подавления) помех от посторонних излучателей проведем расчеты для минимальных (пунктирная линия на рис. 7) и максимальных значений (штрихпунктирная линия на рис. 7) шумов моря.

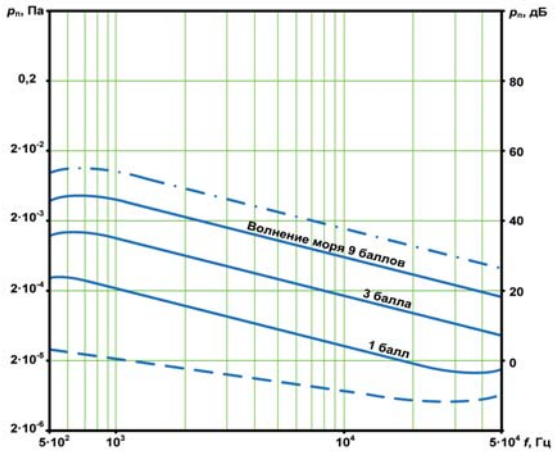


Рис. 7. Спектральные характеристики шумов моря

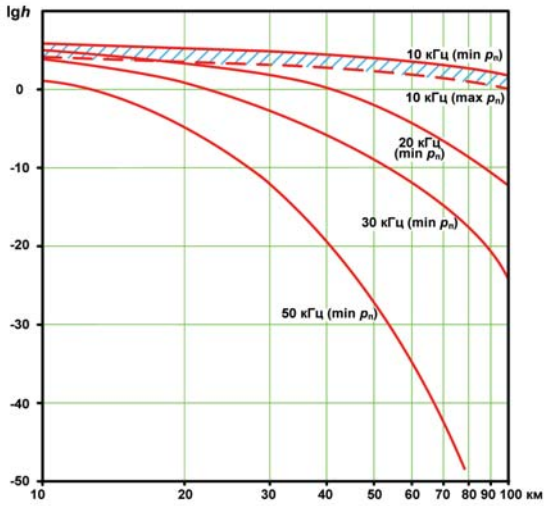


Рис. 8. Зависимость значений lg$h$ от дальности взаимодействия между РТК в группе

Учитывая большой разброс численных значений величин, входящих в формулу (5), для наглядности графического представления соответствующих расчетов приведем её к виду:

$$\lg h = \lg p_o + \lg D_1(\varphi) + \lg D_2(\varphi) + \\ + \lg A_Ф - \lg R - \frac{1}{20}\beta R - \lg p_п(f_p, \Delta f_p). \quad (6)$$

На рисунке 8 представлены результаты расчетов по формуле (8) значений lg$h$ в зависимости от расстояния между РТК для следующих исходных данных: $D_1(\varphi)=1$, $A_Ф=1$, $\beta=0{,}036 f_p^{\frac{3}{2}}$ дБ/км, Δf_p =1 Гц, мощность излучения сигнала $P_{изл}$=100 Вт, r_o=1 м. $p_п(f_p, \Delta f_p)$ вычисляется в соответствии с графиками рис. 7, в предположении использования четырехэлементной адаптивной ФАР, реализованной на базе гидроакустической приемной антенны цилиндрического типа, обеспечивающей подавление помех от посторонних излучателей и формирование максимума ДН в направлении на полезный сигнал.

Из анализа графиков следует, что на частотах свыше 10 кГц реализовать устойчивую связь при $R \geq 100$ км достаточно проблематично, поскольку даже при передаче рассматриваемого узкополосного сигнала, с полосой Δf_p=1 Гц и f_p=10 кГц, в условиях наличия только естественных шумов моря значение отношения сигнал/шум будет находиться в пределах $h \approx 0{,}06 \div 5$, т.е. при реализации в гидроакустическом модеме некогерентного приема, удовлетворительная вероятность доведения информации может быть обеспечена только в условиях минимальной шумности моря (штрихпунктирная линия на рис. 8).

В случае применения когерентного «накопления» узкополосного сигнала, теоретически, за счет увеличения времени излучения (снижения скорости передачи) одного бита сообщения τ_c, можно повысить значение отношения сигнал/шум на входе решающего устройства до заданной величины, однако при практической реализации этого метода, применительно к ГАС, возникают как минимум два ограничения.

Первое из них обусловлено наличием максимального временного интервала когерентности сигналов, в реальном гидроакустическом канале. По результатам исследований, приведенных в [22], указанный интервал не превышает 4 секунд, что недостаточно для необходимого «накопления» сигнала при приеме «под шумами» для рассматриваемых условий.

Вторым ограничением является наличие эффекта доплеровского смещения частоты $\Delta f_д$, приближенное значение которого для двух взаимодействующих по гидроакустическому каналу объектов, перемещающихся с относительной скоростью v, определяем по формуле: , откуда для характерной скорости звука в воде $v_{зв}$=1500 м/с, v = 5 км/ч и f_p = 10 кГц получим: $\Delta f_д \approx$ 9 Гц.

Таким образом, при приеме узкополосного сигнала в модеме ГАС необходимо реализовать алгоритм автоматической адаптивной перестройки приемного фильтра для «отслеживания» за изменением частоты, обусловленного эффектом Доплера. Вследствие чего, при создании модема, обеспечивающего повышение скорости передачи за счет одновременного излучения элементов сообщения на заданном количестве разных частот, следует учитывать необходимость формирования в блоке параллельных фильтров защитного интервала между соседними рабочими частотами $\Delta f_{з.и} \geq 2\,\Delta f_д$.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:45 Page 12

Для дальнейшего увеличения радиуса взаимодействия РТК в зависимости от миссий применимы поля буев-ретрансляторов и донных станций, рис. 9.

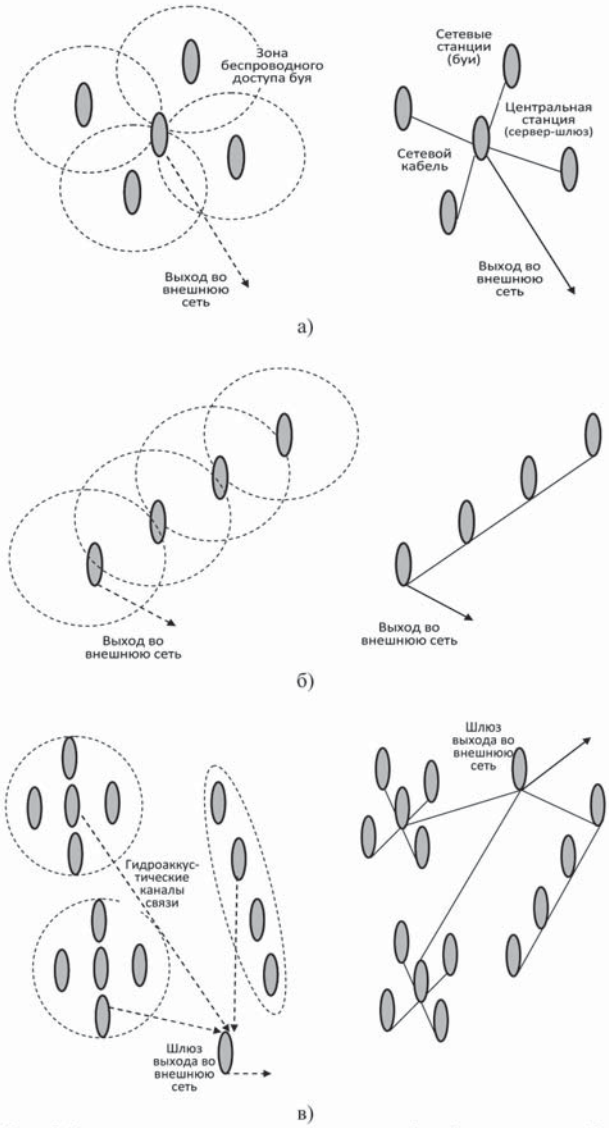


Рис. 9. Варианты топологии размещения поля буев (донных станций) при проведении миссии РТК: а) централизованная топология сети применения на морских буровых платформах; б) многопролетная топология сети для применения в морских проливах и проходах узкостей (каналах), протяженных объектов (путепроводов, подводных кабельных линий); в) распределенная топология сети для применения в портах, заливах, бухтах, морских гаванях

Заключение

В настоящее время отсутствуют обоснованные варианты построения распределенных систем управления смешанными группами РТК, компоненты которых будучи рассредоточенными на борту БПКА (БПЛА), а также надводных и подводных РТК сохраняют информационное взаимодействие, обеспечивая необходимый уровень координации управления всеми участниками смешанной группировки. Причинами этого являются, как трудности в обеспечении устойчивости каналов управления и взаимодействия с робототехнической группировкой на границах физических сред, так и малые дальности в обеспечении ГАС.

Хотя расчеты в представленных материалах велись для «благоприятных» условий связи в предположении наличия минимального уровня шумов и подавления помех от посторонних излучателей, а также без учета возможного попадания принимающего информацию РТК в область «тени» (или значительного ослабления) гидроакустической волны, характерных как для приповерхностного так и для подводного и мелководного звуковых каналов [21], тем не менее, показано наличие принципиальных путей реализации взаимодействия РТК, удаленных друг от друга на расстояния свыше 50 км, особенно при групповой миссии РТК с искусственным интеллектом, позволяющим учитывать гидрологию района их нахождения.

Дальнейшее увеличение дальностей обмена данными при взаимодействии глубокопогруженных РТК на удалениях 50÷100 км достигается подсистемой ГАС за счет снижения скорости передачи до 1 бит/с и менее при условии подавления помех от посторонних излучателей и автоматического учета эффекта Доплера. Повышение скорости передачи в этом случае может быть обеспечено путем применения гидроакустических модемов «параллельного типа».

Глобальные дальности и распределенный характер динамики выполнения миссий смешанными группировками РТК может обеспечиваться за счет использования каналов спутниковой связи в качестве основных. В случае неполной информации о координатах группировки и техническом состоянии РТК, в качестве резервной связи целесообразно использовать передачу данных по радиолиниям СДВ и ДКМ диапазона частот на основе внедрения распределенных когнитивных радиосистем [16].

Литература

1. *Бочаров Л.* Необитаемые подводных аппараты: состояние и общие тенденции развития // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. №7. 2009.

2. *Будко П.А., Чихачев А.В., Баринов М.А., Виноградено А.М.* Принципы организации и планирования сильносвязной телекоммуникационной среды сил специального назначения // Т-Комм: Телекоммуникации и транспорт. №6, 2013. С.8-12.

3. *Белоусов И.* Современные и перспективные необитаемые подводные аппараты ВМС США // Зарубежное военное обозрение. №5. 2013. С. 79-88.

4. Автономные подводные роботы. Системы и технологии / Под ред. М.Д. Агеева. С.: Наука, 2005. 398 с.

5. *Стопцов Н.А., Бойцов В.И., Шелемин В.Н.* Связь под водой. Л.: Судостроение, 1990. 248 с.

6. *Инзарцев А.В., Павин А.М., Багницкий А.В.* Планирование и осуществление действий обследовательского подводного робота на базе поведенческих методов // Подводные исследования и робототехника. №1 (15) 2013. С. 4-16.

7. *Пшиханов В.Х., Чернухин Ю.В., Федотов А.А.* и др. Системы управления автономного подводного аппарата // Известия южного федерального университета. Технические науки. Вып. 3 (152) 2014. С. 87-101.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:46 Page 13

8. *Мартынов Л.А., Машошин А.И., Пашкевич И.В., Соколов А.Л.* Система управления – наиболее сложная часть автономных необитаемых подводных аппаратов. // Морская радиоэлектроника. №4. 2015. С. 27-33.

9. *Бычков И.В., Кензин М.Ю., Максимкин Н.Н., Киселев Л.В.* Эволюционные модели маршрутизации группового движения подводных роботов при многоцелевом динамическом мониторинге морских акваторий // Подводные исследования и робототехника. №2. (18). 2014. С. 4-13.

10. *Баканов Д.В., Мороз Н.В., Пухов Г.Г., Салюк Д.В., Тимчук А.А.* Применение многофункциональнбой системы персональной спутниковой связи «Гонец-Д1М» для обеспечения информационного взаимодействия между удаленными абонентами. // Техника средств связи. Вып. 3 (142). 2014. С. 63-67.

11. МСЭ-R P.372-10.

12. *Долуханов М.П.* Распространение радиовлолн. М.: Связь. 1972. 336 с.

13. *Неволин Т.Н., Щепотин В.И.* Организация и планирование радиосвязи на морском флоте. М.: Транспорт. 1977. 262 с.

14. *Акулов В.С., Салюк Д.В., Угрик Л.Н.* Учет точности прогнозирования электромагнитных полей при расчете радиотехнических систем // Техника средств связи. Вып. 3 (142). 2014. С. 53-56.

15. *Финк Л.М.* Теория передачи дискретных сообщений. М.: Сов. радио, 1970. 728 с.

16. *Николашин Ю.Л., Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А.* Когнитивная система связи и влияние использования данных мониторинга на помехоустойчивость сверхузкополосных декаметровых радиолиний // Морская радиоэлектроника. №2 (52). 2015. С. 16-22.

17. *Алешин О.В., Катанович А.А.* Принципы построения автоматизированных систем спутниковой открытой оптической связи с подводными лодками // Морская радиоэлектроника. №1. 2016. С. 32-35.

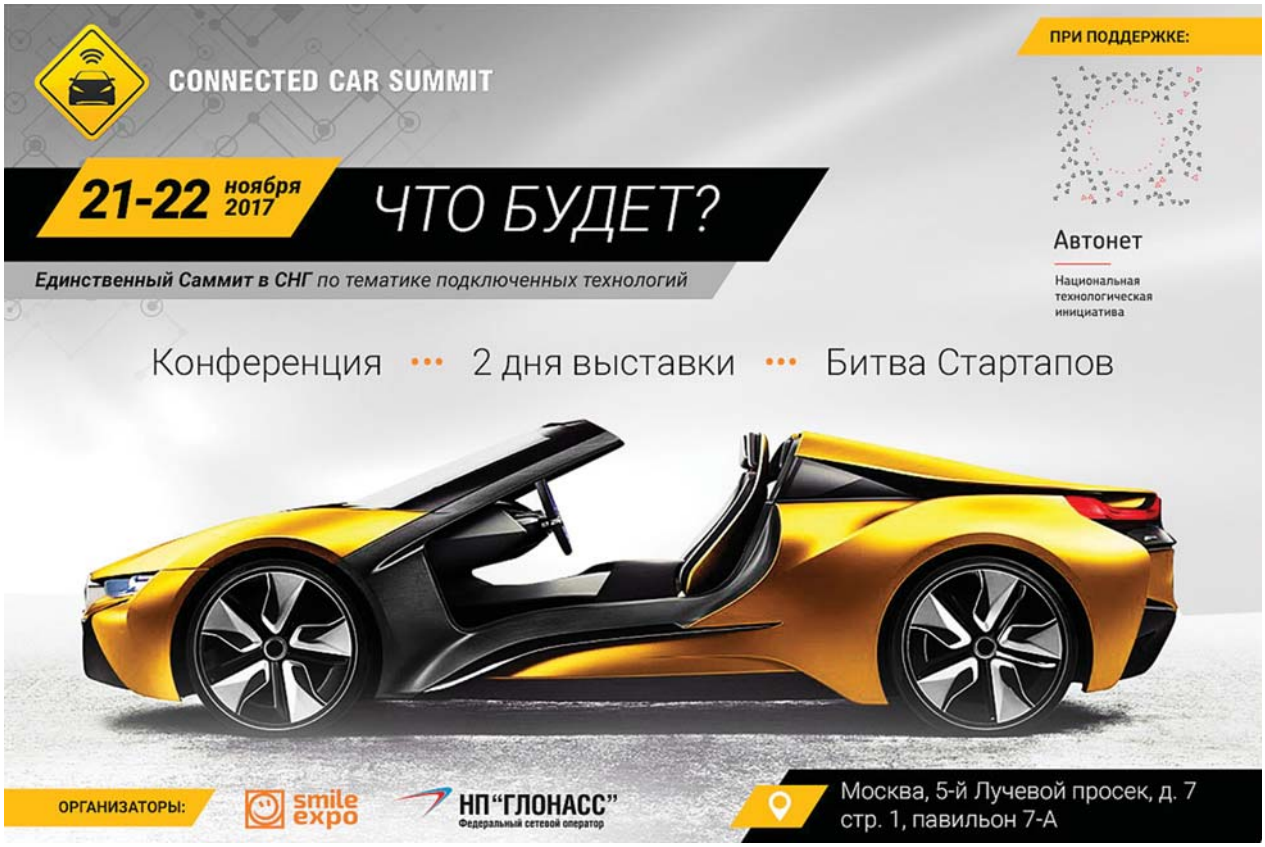
18. *Яковлев В.А., Журенков А.Г., Шульженко П.К., Мусин Л.Ф., Фролов А.П.* Оптико-акустическое устройство наведения для системы подводной бес-проводной оптической связи // Оптический журнал, Т. 79. №10, 2012. С. 91-92.

19. *Шайдуров Г.Я., Кудинов Д.С.* Энергетический потенциал и тактико-технические возможности использования эффекта параметрической демодуляции для подводного радиоприема сигналов в морской воде // Журнал радиоэлектроники. №2. 2012.

20. *Вершинин А.С.* Сравнительный анализ гидроакустических модемов // Молодой ученый. 2015. №12. С. 156-161.

21. *Свердлин Г.М.* Прикладная гидроакустика: Учеб. пособие. – Л.: Судостроение, 1990. – 320 с.

22. *Макаров А.И., Дворников В.Д., Конопелько В.К.* Передача информации в гидроакустическом канале / Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Минск: БГУИР, 2004. С. 103-118.



Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:46 Page 14

GROUP USE OF ROBOTIC COMPLEXES WHEN PERFORMING MISSIONS ON GLOBAL REMOVALS FROM CONTROL CENTER

Budko Pavel Alexandrovich, *Public joint-stock company "Information telecommunication technologies", St. Petersburg, Russia,* ***budko62@mail.ru***
Zhukov Gennadii Anatol'evich, *Public joint-stock company "Information telecommunication technologies", St. Petersburg, Russia,* ***ntelteh@inteltech.ru***

Abstract

Questions of the choice of methods and control paths by robotic complexes of sea basing as link of uniform management information space of various physical environments are considered. The sharing of radio lines of different wave bands allowing to provide steady bringing teams of management to the robotic complexes which are both in surface and in underwater (subglacial) state is offered. Possibilities of channels of space, optical (laser), hydroacoustic and parametrical communication are analysed, and also a comparative assessment of channels of a radio com-munication of decameter and superlong waves on bringing information to the robotic complex which is on global removal from control center is given. Possibilities of the mixed groups of the robotic complexes operating in different environments (space, air, water) on increase in efficiency of accomplishment of the set mission are estimated. Possible methods of information exchange between submersibles are consid-ered and an assessment of the maximum range at data exchange between the deep-shipped objects on the hydroacoustic channel is given. The arising difficulties in justi-fication of options of creation of distributed control systems by the mixed groups of robotic complexes, the ensuring necessary stability of control paths consisting in im-possibility and interaction in group on borders of physical environments, and also small ranges in ensuring hydroacoustic communication are revealed. The comparative characteristic of the main types of modems of hydroacoustic communication of do-mestic and foreign manufacturers is this. Offers on further increase in range of hy-droacoustic communication due to reduction in the rate of transfer and use of hy-droacoustic modems of "parallel type" are formulated. Calculations of a rational num-ber of the robotic complexes operating in group are given. The conclusion is drawn that essential increase in efficiency of actions of the mixed robotic group is reached along with complex use of diverse control paths when finding robotic complexes in various environments, application of the methods based on modern technologies of programmable radio with elements of cognitive radio systems, artificial intelligence and neurobionics when handling of the accepted information during intensive infor-mation interaction on the basis of general databases of the distributed systems.

Keywords: *robotic complex, channel of space communication, decameter radio line, hydroacoustic communication, Dopler's effect.*

References

1. Bocharov L. (2009). Neobitaemye podvodnykh apparaty: sostoianie i obshchie ten-dentsii razvitiia. *Elektronika: Nauka, Tekhnologiia, Biznes*. No.7.
2. Budko P.A., Chikhachev A.V., Barinov M.A., Vinogradenko A.M. (2013). Printsipy or-ganizatsii i planirovaniia sil'nosviaznoi telekommunikatsionnoi sredy sil spetsi-al'nogo naznacheniia. *T-Comm*. No.6. Pp. 8-12. (*In Russian*)
3. Belousov I. (2013). Sovremennye i perspektivnye neobitaemye podvodnye apparaty VMS SShA. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*. No.5. Pp. 79-88. (*In Russian*)
4. Avtonomnye podvodnye roboty. *Sistemy i tekhnologii*. S.: Nauka, 2005. 398 p. (*In Russian*)
5. Stoptsov N.A., Boitsov V.I., Shelemin V.N. (1990). *Sviaz' pod vodoi*. L.: Sudo-stroenie. 248 p. (*In Russian*)
6. Inzartsev A.V., Pavin A.M., Bagnitskii A.V. (2013). Planirovanie i osushchestvlenie deistvii obsledovatel'skogo podvodnogo robota na baze povedencheskikh metodov. *Podvodnye issledovaniia i robototekhnika*. No.1 (15). Pp. 4-16. (*In Russian*)
7. Pshikhanov V.Kh., Chernukhin Iu.V., Fedotov A.A. etc. (2014). Sistemy upravleniia avtonomnogo podvodnogo apparata. *Izvestiia iuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. No. 3 (152). Pp. 87-101. (*In Russian*)
8. Martynov L.A., Mashoshin A.I., Pashkevich I.V., Sokolov A.L. (2015). Sistema upravleniia – naibolee slozhnaia chast' avtonomnykh neobitaemykh podvodnykh appa-ratov. *Morskaia radioelektronika*. No.4. Pp. 27-33. (*In Russian*)
9. Bychkov I.V., Kenzin M.Iu., Maksimkin N.N., Kiselev L.V. (2014). Evoliutsionnye modeli marshrutizatsii gruppovogo dvizheniia podvodnykh robotov pri mnogo-tselevom dinamicheskom monitoringe morskikh akvatorii. *Podvodnye issledovaniia i robototekhnika*. No.2. (18). Pp. 4-13. (*In Russian*)
10. Bakanov D.V., Moroz N.V., Pukhov G.G., Saliuk D.V., Timchuk A.A. (2014). Primenenie mnogofunktsional'noi sistemy personal'noi sputnikovoi sviazi "Gonets-D1M" dlia obespecheniia informatsionnogo vzaimodeistviia mezhdu udalennymi abonentami. *Tekhnika sredstv sviazi*. No. 3 (142). Pp. 63-67. (*In Russian*)
11. MSE-R R.372-10. (*In Russian*)
12. Dolukhanov M.P. (1972). *Rasprostranenie radiovloln*. Moscow, Sviaz'. 336 p. (*In Russian*)
13. Nevolin T.N., Shchepotin V.I. (1977). *Organizatsiia i planirovanie radiosviazi na morskom flote*. Moscow: Transport. 262 p. (*In Russian*)
14. Akulov V.S., Saliuk D.V., Ugrik L.N. (2014). Uchet tochnosti prognozirovaniia elektromagnitnykh polei pri raschete radiotekhnicheskikh sistem. *Tekhnika sredstv sviazi*. No.. 3 (142). Pp. 53-56. (*In Russian*)
15. Fink L.M. (1970). *Teoriia peredachi diskretnykh soobshchenii*. Moscow: Sov. radio. 728 p. (In Russian)
16. Nikolashin U.L., Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. (2015). Kognitivnaia sistema sviazi i vliianie ispol'zovaniia dannykh monitoringa na pomekhoustoichivost' sverkhuzkopolosnykh dekametrovykh radiolinii. *Morskaia radioelektronika*. No.2 (52). Pp. 16-22. (*In Russian*)
17. Aleshin O.V., Katanovich A.A. (2016). Printsipy postroeniia avtomatizirovannykh sistem sputnikovoi otkrytoi opticheskoi sviazi s podvodnymi lodkami. *Morskaia radio-elektronika*. No.1. Pp. 32-35. (*In Russian*)
18. Iakovlev V.A., Zhurenkov A.G., Shul'zhenko P.K., Musin L.F., Frolov A.P. (2012). Optiko-akusticheskoe ustroistvo navedeniia dlia sistemy podvodnoi besprovodnoi opticheskoi sviazi. *Opticheskii zhurnal*, Vol. 79. No.10, Pp. 91-92. (*In Russian*)
19. Shaidurov G.Ia., Kudinov D.S. (2012). Energeticheskii potentsial i taktiko-tekhnicheskie vozmozhnosti ispol'zovaniia effekta parametricheskoi demoduliatsii dlia podvodnogo radiopriema signalov v morskoi vode. *Zhurnal radioelektroniki*. No.2. (*In Russian*)
20. Vershinin A.S. (2015). Sravnitel'nyi analiz gidroakusticheskikh modemov. *Molodoi uchenyi*. No.12. Pp. 156-161. (*In Russian*)
21. Sverdlin G.M. (1990). *Prikladnaia gidroakustika: Ucheb. posobie*. L.: Sudostroenie. 320 p. (*In Russian*)
22. Makarov A.I., Dvornikov V.D., Konopel'ko V.K. (2004). *Peredacha informatsii v gidroakusticheskom kanale*. Doklady Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta informatiki i radioelektroniki. Minsk: BGUIR. Pp. 103-118. (*In Russian*)

Information about authors:
Budko Pavel Alexandrovich, *chief scientific officer of the public joint-stock company "Information telecommunication technologies", doctor of engineering, professor, St. Petersburg, Russia*
Zhukov Gennadii Anatol'evich, *scientific secretary of the public joint-stock company "Information telecommunication technologies", candidate of technical sci-ences, associate professor, St. Petersburg, Russia*

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:46 Page 15

МЕТОДИКА БОРЬБЫ С ПЕРЕГРУЗКАМИ В СЕТЯХ ПАКЕТНОЙ КОММУТАЦИИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Васин Николай Николаевич,
ПГУТИ, г. Самара, Россия, ***vasin@psati.ru***

Иванова Елена Александровна,
ПГУТИ, г. Самара, Россия, ***e.ivanova@psuti.ru***

Ключевые слова: *трафик, маршрутизация, очереди, перегрузка, протоколы, пакетные сети, GNS3.*

Статья посвящена борьбе с перегрузками в сетях, для изучения и исследования которых был создан программно-аппаратный комплекс, включающий 6 коммутаторов, 6 маршрутизаторов, а также персональные компьютеры с установленной программой Graphical Network Simulator (GNS3). Дополнительные сетевые карты установленные на компьютере позволяют смоделировать маршрутизатор. Созданный комплекс представляет собой объединение виртуальной и реальной сетей, так как GNS3 – это графический сетевой эмулятор. Предложена методика борьбы с перегрузками, суть которой заключается в перенаправлении простаивающих в очереди пакетов на резервные пути. Так как в сетях с коммутацией пакетов присутствуют резервные маршруты, есть возможность перенаправления части трафика по ним при перегрузке. В современных протоколах также существуют методики борьбы с перегрузками, но они осуществляют перенаправление всего трафика. Предложенная методика подразумевает деление трафика и распределение его по имеющимся маршрутам, что является отличительной особенностью данной работы.

Разработана математическая модель данной методики, которая предусматривает два способа перенаправления трафика. Первый способ – это справедливое распределение, т.е. поровну по всем существующим маршрутам. Второй способ – это распределение нагрузки до порогового значения одного резервного маршрута, т.е. магистральный маршрут нагружается по максимуму, а оставшийся трафик распределяется по резервным маршрутам. Для подтверждения результатов полученных при математическом моделировании проводилось экспериментальное исследование на созданном программно-аппаратном комплексе. При проведении исследований был сгенерирован трафик, создавший перегрузку маршрутизатора, при этом часть трафика удалось перебросить на резервные пути, и тем самым предотвратить сброс пакетов. Полученные результаты подтверждают правильность предложной методики. Оценка качества передаваемого трафика производилась на основе нечеткой логики. Получена зависимость качества передаваемого трафика от загрузки и доли потерянных пакетов. Предлагаемая методика позволяет в существенной мере снизить сброс пакетов и повысить качество передаваемого трафика.

Информация об авторах:
Васин Николай Николаевич, *д.т.н., профессор, заведующий кафедрой систем связи. ФГБОУ ВО "Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики" (ПГУТИ), г. Самара, Россия*

Иванова Елена Александровна, *магистрант, инженер кафедры систем связи. ФГБОУ ВО "Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики" (ПГУТИ), г. Самара, Россия*

Для цитирования:
Васин Н.Н., Иванова Е.А. Методика борьбы с перегрузками в сетях пакетной коммутации на основе нечеткой логики // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №9. С. 15-21.

For citation:
Vasin N.N., Ivanova E.A. (2017). Overload control methods in packet switching networks based on fuzzy logic . *T-Comm*, vol. 11, no.9, pp. 15-21. (*in Russian*)

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:47 Page 16

Введение

Особую роль в пакетных сетях занимает обеспечение требуемого уровня качества обслуживания (QoS). Буферизация пакетов на входных и выходных интерфейсах сетевых элементов позволяет в некоторой мере снизить влияние нагрузки на пропускную способность сети [1].

Однако современным мультисервисным сетям присущ самоподобный (фрактальный) трафик, который характеризуется большой пачечностью, т.е. пакеты приходят сразу пачками, что приводит возникновению очередей и перегрузке буферных устройств. Вследствие чего пакеты с низким приоритетом теряются. В целях обеспечения требуемой надежности потерянные пакеты передаются повторно, что приводит к еще большему возрастанию очереди на обслуживание сетевыми элементами, а QoS снижается [2].

Механизмы управления очередями обеспечивают снижение влияния перегрузки, но в полной мере решить эту проблему не могут. Поэтому сети работают в недогруженном режиме, что экономически не выгодно.

В сетях с коммутацией пакетов обычно существуют альтернативные пути к адресату назначения. Поэтому при возникновении перегрузок есть возможность перенаправления части трафика по резервным путям, где сетевые элементы в данный момент не догружены. При этом перераспределение (балансировка) нагрузки должна производиться в режиме реального времени.

Программно-аппаратный исследовательский комплекс

В целях изучения и реализации методик борьбы с перегрузками был создан программно-аппаратный комплекс по изучению и исследованию всевозможных технологий пакетной коммутации. Комплекс основан на базе оборудования лаборатории «Технологии пакетной коммутации» на кафедре систем связи ПГУТИ и программного продукта – эмулятора GNS3 (рис. 1) [3, 4]. Таким образом, созданный программно-аппаратный комплекс является симбиозом реальной сети лаборатории «Технологии пакетной коммутации» с виртуальной сетью, построенной на базе GNS3.

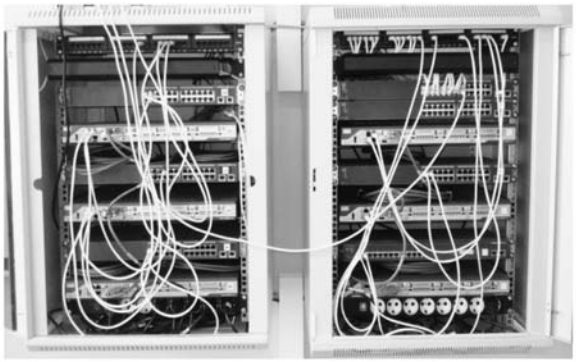


Рис. 1. Оборудование лаборатории «Технологии пакетной коммутации»

GNS3 – это кросс-платформенный графический сетевой эмулятор, работающий на операционных системах Windows, OS X и Linux. GNS3 позволяет: настраивать сетевые лаборатории в соответствии с потребностями, создавать неограниченные проекты с использованием технологий Cisco и других, добавлять неограниченное число объектов в проекты и получать доступ к этим проектам в любое время.

Графический интерфейс GNS3 позволяет создавать виртуальные сетевые лаборатории с различными маршрутизаторами, коммутаторами и компьютерами. В отличие от аналогичных приложений, GNS3 не просто имитирует команды или функции операционных систем. Вместо этого он эмулирует реальное оборудование. Все команды конфигурации и выходные данные поступают из реальной операционной системы, и теоретически любые протоколы или функции, поддерживаемые данной версией, доступны для использования в сетевых проектах. Эта функциональность отличает GNS3 от аналогичных программ, которые имитируют оборудование и предоставляют ограниченные возможности, команды и сценарии для работы [5].

Модель на основе нечеткой логики

По мере усложнения объекта, вследствие появления ряда неопределенностей, невозможно построить достаточно точную математическую модель оценки качества, несмотря на усложнение математических методов. Существует много ситуаций, при которых традиционному математическому моделированию на основе систем алгебраических и дифференциальных уравнений недостает гибкости. Поэтому было принято решение построить математическую модель оценки качества передаваемого трафика на основе математического аппарата нечеткой логики.

В модели используются следующие функции принадлежности для входных и выходных типов переменных:

– Z-образная функция принадлежности (1)

$$f_z(x;\ a,\ b) = \begin{cases} 1, & x \le a; \\ \dfrac{b-x}{b-a}, & a < x < b; \\ 0, & x \ge b. \end{cases} \quad (1)$$

– S-образная функция принадлежности (2)

$$f_S(x;\ a,\ b) = \begin{cases} 1, & x \le a; \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a < x < b; \\ 0, & x \ge b. \end{cases} \quad (2)$$

– Треугольная функция принадлежности (3)

$$f_\Delta(x;\ a,\ b) = \begin{cases} 1, & x \le a; \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a < x < b; \\ \dfrac{c-x}{c-b}, & b < x < b; \\ 0, & x \ge c. \end{cases} \quad (3)$$

где a, b, c – числовые параметры, удовлетворяющие условию $a \le b \le c$ (табл. 1).

На рисунках 2 и 3 представлены функции принадлежности входных переменных «Загрузка» и «Доля потери пакетов», функция выходной переменной «Качество» представлена на рис. 4.

При построении и проверки степени адекватности нечеткой модели использовался пакет Fuzzy Logic Toolbox программного продукта MatLab. При задании функций принадлежности в пакете Fuzzy Logic Toolbox (рис. 5) видно, что функции принадлежности приобретают нелинейный характер.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:47 Page 17

Таблица 1

Параметры функций принадлежности лингвистических переменных

Тип переменной	Наименование переменной	Терм множества	Тип функции принадлежности	Значения параметров функции принадлежности (a, b, c)
Входная	Загрузка [0; 1]	Низкая	z-подобная	[0; 0.2; 0.5]
		Средняя	Треугольная	[0.2; 0.5; 0.8]
		Высокая	s-подобная	[0.5; 0.8; 1]
Входная	Доля потери пакетов $[10^{-10}; 10^{-1}]$	Приемлемая	z-подобная	$[10^{-10}; 10^{-6}; 10^{-5}]$
		Неприемлемая	s-подобная	$[10^{-6}; 10^{-5}; 10^{-1}]$
Выходная	Качество [0; 100] %	Низкое	z-подобная	[0; 20; 50]
		Среднее	Треугольная	[20; 50; 80]
		Высокое	s-подобная	[50; 80; 100]

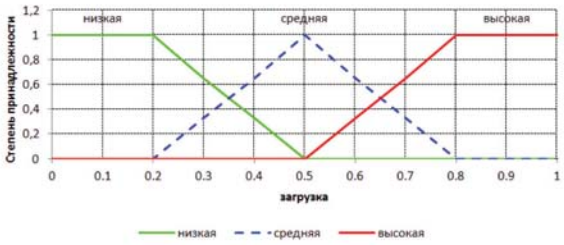


Рис. 2. Графики функций принадлежности входной переменной «Загрузка»

Рис. 3. Графики функций принадлежности входной переменной «Доля потери пакетов»

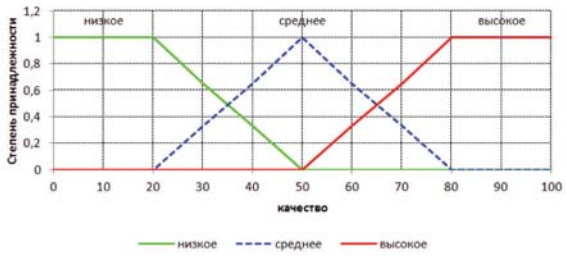


Рис. 4. Графики функций принадлежности выходной переменной «Качество»

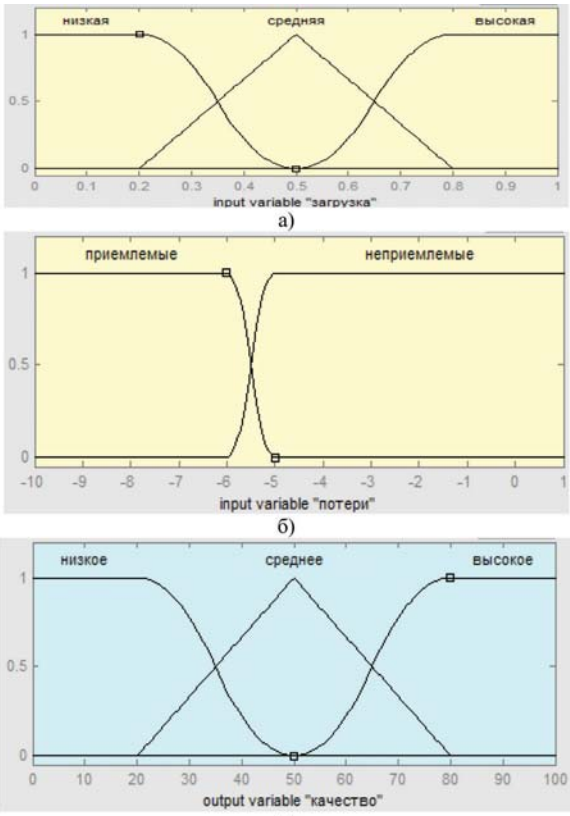


Рис. 5. Графики функций принадлежности в пакете Fuzzy Logic Toolbox: а) входная переменная загрузка; б) входная переменная доля потери пакетов; в) выходная переменная качество

После определения функций принадлежности и входных параметров необходимо определить базу правил для соответствующих параметров. База правил представляет собой множество нечетких правил R_k, $k = 1,\ldots,N$ вида:

R_k : ЕСЛИ(x_1 это A_{1^k} И x_2 это A_{2^k} И x_n это A_{n^k}), где x_i – входные
ТОГДА (y_1 это B_{1^k})

переменные, A_{i^k} – соответствующие им нечеткие множества, y_i – выходная переменная, B_{1^k} – соответствующее ему нечеткое множество. $k=1,\ldots,N$ – правила нечеткого логического вывода, N – количество правил нечеткого логического вывода, $i = 1,\ldots,n$.

В процессе моделирования были использованы два объективных параметра качества телекоммуникационной сети связи, при оценке качества используется алгоритм нечеткого логического вывода Мамдани, удалось получить адекватную причинно-следственную связь между параметрами производительности сети связи (табл. 2).

На рисунке 6 показана оценка качества по шести правилам. Далее рассмотрен пример: если загрузка принимает значение 0.7 и доля потери пакетов составляет 10^{-2}, то оценка качества равна 30%, что не соответствует требуемым значениям, предъявляемым к телекоммуникационным сетям [6].

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:48 Page 18

Таблица 2

База правил нечеткого вывода

Номер правила №	ЕСЛИ	И	То
	Загрузка	Доля потери пакетов	Качество
1	Низкая	Приемлемые	Высокое
2	Низкая	Неприемлемые	Низкое
3	Средняя	Приемлемые	Среднее
4	Средняя	Неприемлемые	Низкое
5	Высокая	Приемлемые	Среднее
6	Высокая	Неприемлемая	Низкое

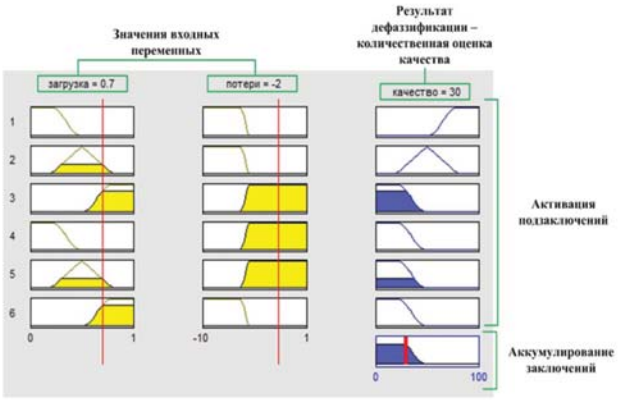


Рис. 6. Поэтапная оценка качества на основе нечеткой логики

На рисунке 7 приведена зависимость качества предоставления услуги в процентах от загрузки сети. Увеличение загрузки сети приводит к увеличению доли сброшенных пакетов. Поэтому с увеличением загрузки качество снижается.

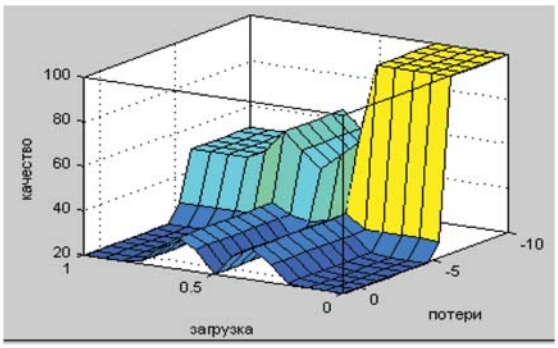


Рис. 7. Зависимость входных переменных на значение выходной переменной

Методика борьбы с перегрузками

Предлагаемая методика борьбы с перегрузками основана на перенаправлении простаивающих в очереди пакетов на резервные пути. В современных протоколах также существуют механизмы борьбы с перегрузками, но они осуществляют перенаправление всего трафика на резервный маршрут. Данная методика подразумевает разбиение трафика на части и его перенаправление, что отличает ее от существующих. Алгоритм борьбы с перегрузками представлен на рис. 8.

Рис. 8. Алгоритм работы борьбы с перегрузками

Для проверки работоспособности методики борьбы с перегрузками в программном продукте MathCad была создана искусственная перегрузка, и производилось математическое моделирование перенаправления трафика по резервным маршрутам.

Введен параметр загрузки сети, значения которого варьируются в пределах от 0 до 1. Загрузка сети выше 0,8 считается очень высокой, при которой начинают формироваться очереди и возникает перегрузка.

Текущая загрузка Nd_t (4) представлена четырьмя значениями: 0.25; 0.85; 0.95; 0.5; на интервале времени 0 – 1200 с, т.е. это модель динамического трафика, включающая 4 режима работы – небольшая загрузка (значения 0,25 и 0,5) и перегрузка (значения 0.85 и 0.9).

$$Nd_t = \begin{cases} 0.25 \ if \ (t > 0 \wedge t \ 300) \\ 0.85 \ if \ (t > 300 \wedge t \ 600) \\ 0.9 \ if \ (t > 600 \wedge t \ 900) \\ 0.5 \ if \ (t > 900 \wedge t \ 1200) \end{cases} \quad (4)$$

Вводится пороговое значение загрузки $Ns_t = 0.8$. Параметр перегрузки (5) определяется как отношение текущей загрузки Nd_t на параметр порогового значения загрузки:

$$Kd_t = ceil(\frac{Nd_t}{Ns_t}) \quad (5)$$

где *ceil* – операция округления результата в большую сторону.

При Kd_t больше единицы срабатывает механизм защиты от перегрузки. При этом происходит деление трафика, а также определяется количество маршрутизаторов с помощью счетчика hello пакетов от разных источников, примыкающих к анализируемому маршрутизатору.

Далее трафик распределяется в соответствии с одним из двух вариантов распределения: справедливое распределение и распределение до порогового значения одного из маршрутов.

1. Справедливое распределение – производится равномерно по всем доступным маршрутам (6).

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:48 Page 19

$$Ed_{t,x} = \begin{cases} if\ Kd_t = 1 \\ \quad Td_t\ if\ x = M \\ \quad 0\ otherwise \\ ceil\ [\dfrac{Td_t - \sum_{i=0}^{x-1} Ed_{t,i}}{(KOL - x + 1)}]\ if\ Kd_t > 1 \end{cases} \quad (6)$$

где $Td_t = Nd_t * 10^8$ – поток трафика (загрузка), значение в байтах, KOL – количество маршрутов примыкающих к маршрутизатору, $Ed_{t,x}$ – распределение по пути, где x – номер пути.

При параметре перегрузки *Kd* равном единице, трафик будет направляться по магистральному пути x = M, где x – порядковый номер маршрута, M – магистральный маршрут. При возникновении перегрузок, *Kd* больше единицы, производится перераспределение согласно алгоритму справедливого распределения по маршрутам (рис. 9).

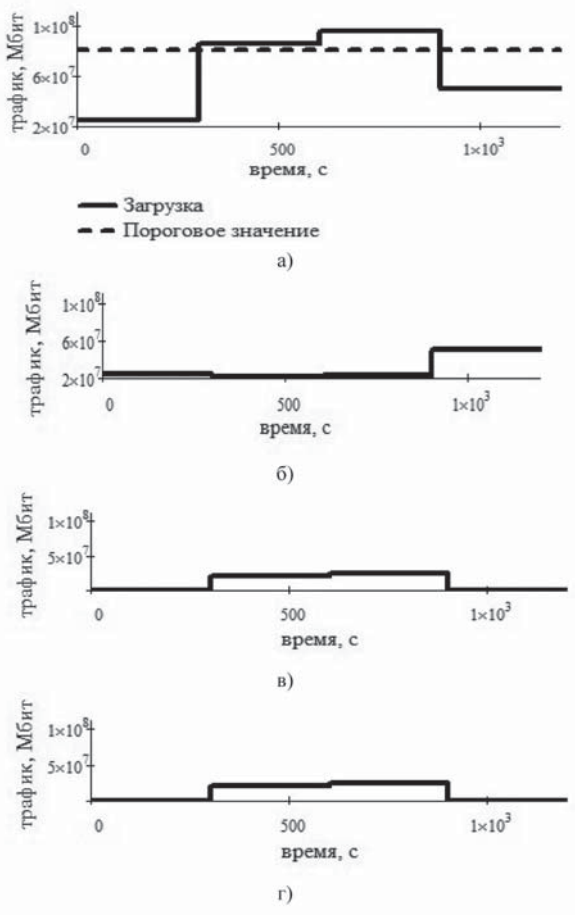


Рис. 9. Справедливое распределение по трем маршрутам: а) Текущая загрузка и пороговое значение; б) Распределение по первому (магистральному) пути; в) Распределение по второму пути; г) Распределение по третьему пути

2. Распределение до порогового значения одного из маршрутов - при этом определяются «основные» и «запасные» пути, заполнение основного происходит до порога «предельной загрузки» (7).

$$Ed2_{t,x} = \begin{cases} if\ Kd_t = 1 \\ \quad Td_t\ if\ x = M \\ \quad 0\ otherwise \\ \quad if\ Kd_t > 1 \\ \quad BS * Ns_t\ if\ x = M \\ ceil\ [\dfrac{Td_t - BS * Ns_t}{(KOL - 1)}]\ if\ x \neq M \end{cases} \quad (7)$$

где $Td_t = Nd_t * 10^8$ – поток трафика (нагрузка), значение в байтах, KOL – количество маршрутов примыкающих к маршрутизатору, $Ed_{t,x}$ – распределение по пути, где x – номер пути.

При параметре перегрузки *Kd* равном единице, трафик будет направляться по магистральному пути x = M, где x – порядковый номер маршрута, M – магистральный маршрут. Если параметр перегрузки *Kd* больше единицы, то трафик перераспределяется на основной маршрут до полного его заполнения, оставшаяся часть трафика перераспределяется на резервные маршруты (рис. 10).

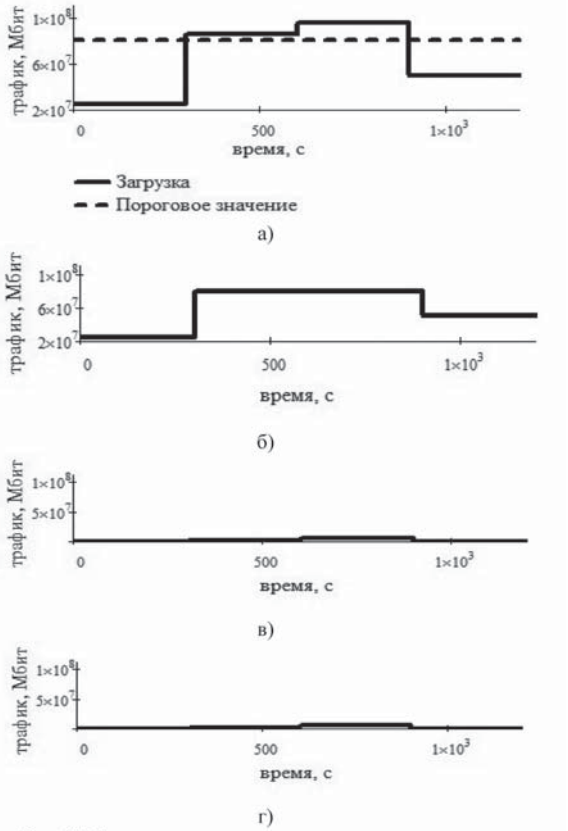


Рис. 10. Распределение до порогового значения одного из маршрутов: а) Текущая загрузка и пороговое значение; б) Распределение по первому (магистральному) пути; в) Распределение по второму пути; г) Распределение по третьему пути

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:49 Page 20

По графикам видно, что основная часть трафика перенаправляется на магистральный путь, а оставшаяся часть распределяется по всем резервным маршрутам.

Анализируя графики, полученные в ходе исследований, можно сделать вывод о том, что оба метода повышают эффективность работы сети. Причем, в первом случае трафик разбивается на равные части и передается по всем доступным маршрутам, тогда как во втором случае нагружается магистральный маршрут, а остатки трафика в равных частях передаются по резервным путям. Оба метода предотвращают сброс пакетов при перегрузках.

Физическое моделирование

Для подтверждения достоверности проведенных исследований и проверки математической модели и методики борьбы с перегрузками было проведено физическое моделирование. Был задействован программно-аппаратный комплекс, схема физической модели приведена на рис. 11.

Генераторами трафика выступали PC1 и PC2, была исследована двухсторонняя передача данных между ними [7].

Для передачи трафика был задействован программный продукт utorent, в котором задействован специальный протокол, предназначенный для обмена файлами между пользователями. В качестве самоподобного трафика передавался медиаконтент.

Мониторинг сети проводился с помощью программного продукта WireShark. Маршрутизатор R1 на котором была реализована методика борьбы с перегрузками моделировался на персональном компьютере с пятью сетевыми платами, что обеспечивало пути для достижения пункта назначения.

На персональном компьютере PC1 дополнительно была спроектирована виртуальная сеть с использованием программного продукта GNS3. Подключение виртуальной проектируемой сети к реальному оборудованию производилось на маршрутизаторе R3. В процессе эксперимента были получены графики (рис. 12, 13).

Рисунок 12 получен в программном продукте utorent. На графике видно, что в момент перегрузки (падения) сети на участке 2 включился режим перераспределения, что привело к увеличению пропускной способности сети, которая возросла практически вдвое на участке 3 за счет включения резервного маршрута. Работоспособность сети была восстановлена.

На втором графике (рис. 13), полученном при анализе распечаток из программного продукта WireShark на участке 1 пропускная способность составляла 10 Мбит/с. Затем в условиях созданной перегрузки участок 2, часть трафика была перенаправлена на второй путь. При этом наблюдается рост трафика. На участке 3 пропускная способность выросла вдвое до 20 Мбит/с, что говорит о том, что для передачи трафика задействовано два маршрута.

Таким образом, оба программных продукта (utorent и WireShark) дают практически одинаковые результаты, подтверждающие достоверность проведенных исследований.

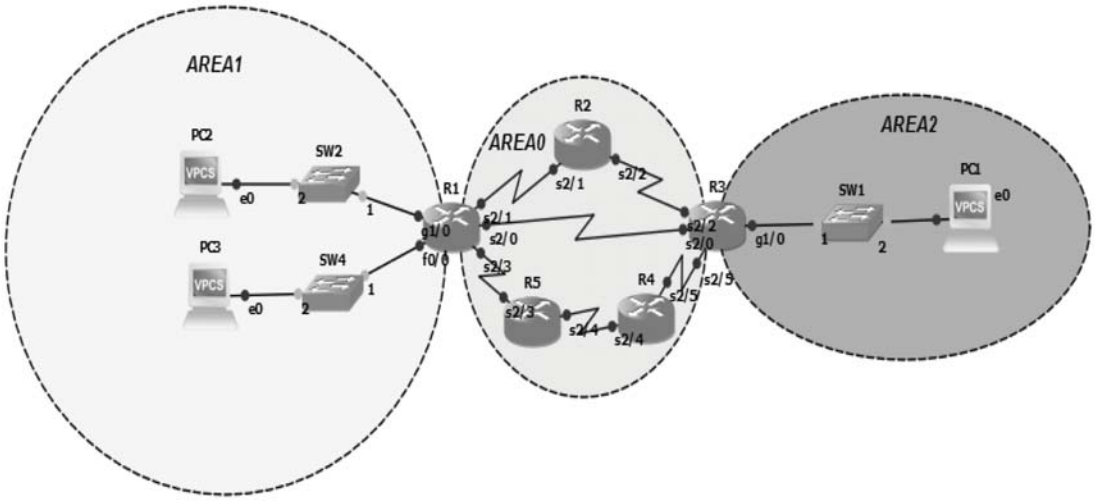


Рис. 11. Схема физической модели сети

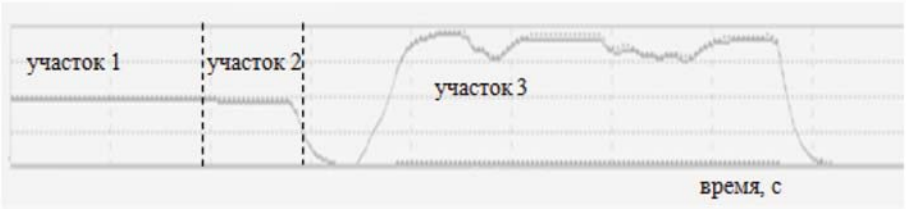


Рис. 12. Анализ пропускной способности с использованием программного продукта utorent

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:49 Page 21

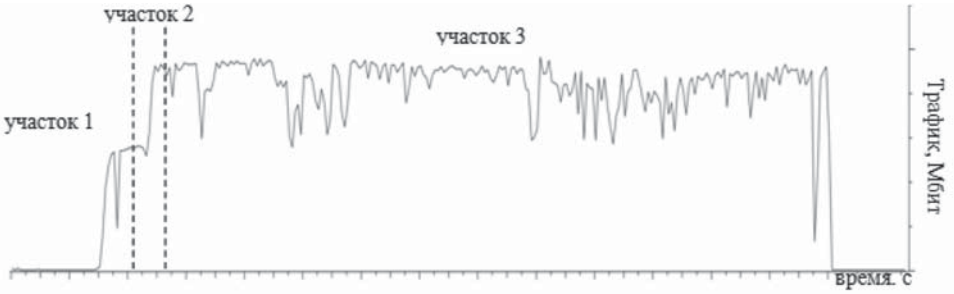


Рис. 13. Анализ пропускной способности с использованием программного продукта WireShark

Вывод

Методика перенаправления трафика на резервные маршруты повышает качество обслуживания, снижает процент сброшенных пакетов, что и позволяет эффективно использовать пропускную способность сети.

Литература

1. *Карташевский В.Г.* Основы теории массового обслуживания. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. 130 с.
2. *Шелухин О.И., Осин А.В., Смольский С.М.* Самоподобие и фракталы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 368 с.
3. Программа сетевой академии Cisco CCNA 1 и 2. Вспомогательное руководство. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. 1168 с.
4. Программа сетевой академии Cisco CCNA 3 и 4. Вспомогательное руководство. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1000 с.
5. *Jason C. Neumann*. The Book of GNS3. No Starch Press, Inc., 2015. 272 p.
6. *Лихтциндер Б.Я.* Интервальный метод анализа трафика мультисервисных сетей доступа. Самара: ИУНЛ ПГУТИ, 2015. 121 с.
7. *Олифер В. Г., Олифер Н. А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2014. 944 с.

OVERLOAD CONTROL METHODS IN PACKET SWITCHING NETWORKS BASED ON FUZZY LOGIC

Nikolai N. Vasin, *Povolzhskiy state University of telecommunications and Informatics (PSUTI), Samara, Russia,* ***vasin@psati.ru***
Elena A. Ivanova, *Povolzhskiy state University of telecommunications and Informatics (PSUTI), Samara, Russia,* ***e.ivanova@psuti.ru***

Abstract

The article is addressed to the network overload control methods. For the study and research of overloads in the networks was created software and hardware complex. This complex includes 6 switches, 6 routers, and also personal computers with installed program Graphical Network Simulator (GNS3). Additional network cards were installed on the computer that allow to simulate the router. The whole complex is a combination of virtual and real networks, since GNS3 is a graphical network emulator. Proposed method to reduce traffic congestion in networks includes idle packets redirection to reserve paths. Modern protocols has such mechanism to deal with congestion, but they redirect all traffic. The proposed methods implies separation of traffic and its distribution along existing routes, which is a distinctive feature of this work. A mathematical model of this technique was developed, which provides two methods for redirecting traffic. The first method is an equitable distribution, i.e. all traffic separated equally on all existing routes. The second way is to distribute the traffic to the threshold value of one reserve route, i.e. the backbone route is loaded to the maximum, and the remaining traffic is distributed along the reserve routes. To confirm the results obtained during mathematical modeling, an experimental study was conducted on the created complex. During the research, traffic was generated that created the congestion of the router. Part of the traffic was retransferred to the backup paths, and thus dropping of packets was prevented. Obtained results confirm the correctness of the proposed methods. Quality of transmitted traffic was estimated on the basis of fuzzy logic. The quality depends on the load and the rate of dropped packets. The proposed methods allows to significantly reduce the packet drop and improve the quality of the transmitted traffic.

Keywords: *traffic, routing, queues, overload, protocols, packet networks, GNS3.*

References

1. Kartashevskij V.G. (2013). *Fundamentals of queuing theory*. Moscow: Goryachaya liniya – Telecom. 130 p. (*In Russian*)
2. Sheluhin O.I., Osin A.V., Smolski S.M. (2008). *Self-similarity and fractals*. Moscow: FIZMATLIT. 368 p. (*In Russian*)
3. Cisco system Inc. (2005). *Cisco CCNA Networking Academy Program 1 and 2. Auxiliary guide*. Moscow: "Williams" Publishing House. 1168 p. (*In Russian*)
4. Cisco system Inc. (200). *Cisco CCNA Networking Academy Program 3 and 4. Auxiliary management*. Moscow: Publishing House "Williams". 1000 p. (*In Russian*)
5. Jason C.N. (2015). *The Book of GNS3*. No Starch Press, Inc. 272 p. (*In English*)
6. Lihttsinder B.J. (2015). *Interval method for analyzing traffic multiservice access networks*. Samara: IUNL PGUTI. 121 p. (*In Russian*)
7. Olifer V.G., Olifer N.A. (2014). *Networks. Principles, technologies, protocols*. St.Petersburg: Piter. 944 p. (*In Russian*)

Information about authors:

Nikolai N. Vasin, Povolzhskiy state University of telecommunications and Informatics (PSUTI), professor, Samara, Russia
Elena A. Ivanova, Povolzhskiy state University of telecommunications and Informatics (PSUTI), engineer, Samara, Russia

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:49 Page 22

СВЯЗЬ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВМЕСТНОЙ ПЕРЕДАЧИ РАЗНОРОДНОГО ТРАФИКА В СОТЕ СЕТИ LTE

Антонова Вероника Михайловна,
МГТУ им. Баумана, Москва, Россия,
xarti@mail.ru

Маликова Елена Егоровна,
МТУСИ, Москва, Россия,
emalikova@gmail.com

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-29-09497 офи-м)

Ключевые слова: *сети LTE, эластичный трафик, параметры качества обслуживания – QoS, трафик реального времени, передача данных, ресурс сети, модель обслуживания трафика.*

В настоящее время, в России функционируют около 300 сетей стандарта LTE. Повсеместное их проникновение вызывает ряд трудностей у оператора, в частности, проблемы возникают при передаче разнородного трафика. Трафик в сетях стандарта LTE можно условно разделить на два вида: трафик реального времени и эластичный трафик. Трафик реального времени очень чувствителен к задержкам и должен иметь фиксированную скорость передачи. К этому виду трафика относится речь, видеоконференции с разной степенью качества и т.д. Эластичный трафик используется, в основном, для передачи данных, и при этом его скорость передачи может меняться пропорционально остаточной пропускной способности соты. Это может происходить, например, при скачивании файлов, межмашинном обмене данными для Интернета вещей и т.д. Особенности передачи эластичного вида трафика позволяет существенно повысить эффективность использования ресурсов сети. Это особенно важно для сетей подвижной связи стандарта LTE, где абоненты используют устройства с интеллектуальными модемами, которые существенно увеличивают долю эластичного трафика. Очевидно, что совместная передача неоднородного трафика по сети нуждается в средствах контроля, обеспечивающих заданные показатели качества обслуживания поступающих заявок. Так при увеличении или уменьшении скорости передачи в тех же пропорциях уменьшается или увеличивается среднее значение остаточного времени на передачу файлов данных. Из теории телетрафика известно, что заявки на передачу файлов за счет стихийного захвата ресурсов вытесняют из обслуживания заявки на передачу трафика сервисов реального времени. Одним из способов контроля пропускной способности сотовой сети является введение ограничительных порогов для скорости передачи эластичного трафика данных. Для решения поставленной задачи в статье рассматривается решение задачи планирования пропускной способности и допустимого объема трафика, передаваемого через соту сети LTE, при этом он должен быть передан с заданными показателями качества обслуживания.

Информация об авторах:
Антонова Вероника Михайловна, *ассистент, МГТУ им. Баумана, Москва, Россия*
Маликова Елена Егоровна, *доцент кафедры Сети связи и системы коммутации МТУСИ, к.т.н., доцент, Москва, Россия*

Для цитирования:
Антонова В.М., Маликова Е.Е. Исследование эффективности совместной передачи разнородного трафика в соте сети LTE // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №9. С. 22-25.

For citation:
Antonova V.M., Malikova E.E. (2017). Aspects of the building a system of network synchronization signals in frequency, phase shift and time. *T-Comm*, vol. 11, no.9, pp. 22-25. (*in Russian*)

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:50 Page 23

Рассмотрим процесс распределения ресурса в отдельной соте сети стандарта LTE [1]. Обозначим через (i_r, i_d) вектор состояния числа заявок находящихся на обслуживании в соте [2]. Здесь i_r — число заявок на передачу трафика реального времени, i_d — число заявок на передачу файлов данных. Примем, что время обслуживания каждой из i_r заявок на передачу трафика реального времени имеет экспоненциальное распределение с параметром μ_r .При этом для обслуживания трафика реального времени в состоянии (i_r, i_d) выделяется ресурс соты в размере $i_r c_r$ бит/с.

Также примем, что время обслуживания каждой из i_d заявок на передачу файлов данных в состоянии (i_r, i_d) имеет экспоненциальное распределение. Обозначим параметр распределения через μ_d. Величина μ_d зависит от степени загрузки соты. При этом, если выполняется соотношение $i_r c_r + i_d c_2 \le C$, то каждый из i_d обслуживаемых файлов передается с максимально возможной скоростью c_2. В этой ситуации на обслуживание трафика данных в состоянии (i_r, i_d) выделяется ресурс соты в размере $i_d c_2$ бит/с, часть ресурса соты в размере $C - i_r c_r - i_d c_2$ остается незадействованной в силу ограничений на максимально возможную скорость передачи данных. Если же выполняется обратное соотношение $i_r c_r + i_d c_2 > C$, то каждый из i_d обслуживаемых в состоянии (i_r, i_d) файлов передается со скоростью $\frac{C - i_r c_r}{i_d}$. В этой ситуации на обслуживание трафика данных выделяется весь оставшийся ресурс соты в размере $C - i_r c_r$ бит/с.

Таким образом, при увеличении или уменьшении скорости передачи в той же пропорции уменьшается или увеличивается среднее значение остаточного времени обслуживания заявки на передачу файла данных [3, 4].

Изменение скорости передачи данных осуществляется динамически в соответствии с загрузкой соты. При малой загрузке данные передаются с максимально возможной скоростью c_2, которая поддерживается техническими возможностями сети LTE, при большой загрузке – с минимальной скоростью c_1. При этом используемый ресурс, а, следовательно, и скорость передачи трафика сервисов реального времени не меняются.

В качестве примера распределения ресурса передачи информации рассмотрен процесс поступления и обслуживания заявок (рис.1) в ситуации, когда пропускная способность соты C = 10 Мбит/с, скорость трафика реального времени c_r = 1 Мбит/с, скорость передачи файлов данных меняется от c_1 = 1 Мбит/с до c_2 = 2 Мбит/с, при этом сота находится в состоянии (2,2), то есть на обслуживании в соте находятся две заявки реального времени и две заявки на передачу файлов данных.

В рассматриваемый момент времени t_0 в состоянии (2,2) в соте занят ресурс $c_{r,d}$ = 2 + 2 x 2 = 6 Мбит/с.

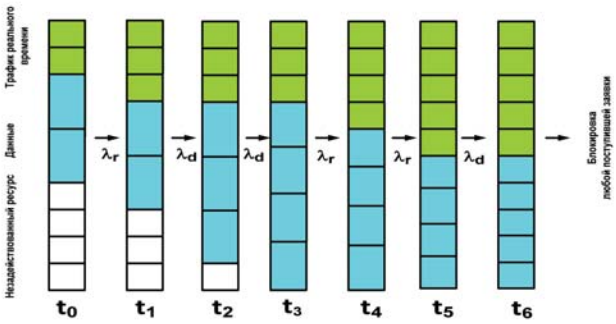


Рис. 1. Пример распределения ресурса для исследуемой модели соты сети стандарта LTE

Допустим в момент t_1 поступает заявка на передачу трафика реального времени. Она принимается к обслуживанию и система переходит в состояние (3,2). В этом состоянии $c_{r,d}$ = 3 + 2 x 2 = 7 Мбит/с. Допустим в момент t_2 поступает заявка на передачу файла данных. Она принимается к обслуживанию на максимальной скорости c_2 = 2 Мбит/с и система переходит в состояние (3,3). В этом состоянии $c_{r,d}$ = 3 + 3·x 2 = 9 Мбит/с. Далее в момент t_3 поступает еще одна заявка на передачу файла данных. Она принимается к обслуживанию. Система переходит в состояние (3, 4).

При этом скорость передачи всех принятых файлов, включая поступившую заявку, находится из выражения: $\frac{10-3}{4}$ = 1,75Мбит/с. Пусть теперь в момент t_4 поступает заявка на передачу трафика реального времени. Она принимается к обслуживанию. Система переходит в состояние (4,4). При этом скорость передачи всех принятых файлов данных меняется и становится равной $\frac{10-4}{4}$ = 1,5 Мбит/с. В следующий момент t_5 опять поступает заявка на передачу трафика реального времени. Она принимается к обслуживанию. Система переходит в состояние (5, 4). При этом скорость передачи всех принятых файлов данных меняется на $\frac{10-5}{4}$ = 1,25 Мбит/с. Далее в момент t_6 поступает заявка на передачу еще одного файла данных. Она принимается к обслуживанию. Система переходит в состояние (5,5). При этом скорость передачи всех принятых файлов данных, включая поступившую заявку, находится из выражения: $\frac{10-5}{5}$=1 Мбит/с и данные передаются с минимально возможной скоростью. Если в системе не произойдет окончания обслуживания какой-либо заявки, то вновь поступившая заявка любого типа получит отказ в обслуживании.

Качество обслуживания заявок на передачу трафика реального времени оценивается долей потерянных заявок и средним значением используемого ресурса соты, выраженного в битах в секунду [5, 6]. Качество обслуживания файлов эластичного трафика зададим долей заявок, которым отказано в допуске к обслуживанию, и средним временем доставки соответствующего информационного сообщения.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:51 Page 24

Для анализируемой в работе марковской модели эти характеристики, а так же ряд других характеристик могут быть найдены суммированием стационарных вероятностей $p(i_r, i_d)$ марковского процесса r(t) по отдельным подмножествам пространства состояний S. Среднее значение ресурса передачи информации соты s_r, занятого на обслуживание заявок на передачу трафика реального времени, находится из соотношения: $s_r = \sum_{(i_r,i_d)\in S} p(i_r,i_d) i_r c_r$.

Среднее значение ресурса передачи информации соты s_d, занятого на передачу файлов, находится из соотношения $s_d = \sum_{(i_r,i_d)\in S} p(i_r,i_d) i_d \min\left\{c_2, \frac{C - i_r c_r}{i_d}\right\}$.

Выполним анализ зависимости основных вероятностных характеристик исследуемой модели от увеличения трафика. Возьмем следующие фиксированные значения входных параметров: C = 100 Мбит/с, c_r = 3 Мбит/с, c_1 = 1 Мбит/с, c_2 = 5 Мбит/с, среднее значение объема передаваемого файла данных примем F = 16 Мбайт. Будем предполагать, что заявки на передачу трафика данных поступают в сто раз чаще, чем заявки на передачу трафика реального времени. Обозначим через ρ минимальную потенциальную загрузку единицы ресурса передачи соты.

На рисунке 2 представлены результаты расчета средних значений распределения скоростей соты s_r и s_d, использованных соответственно на передачу трафика сервисов реального времени и файлов данных.

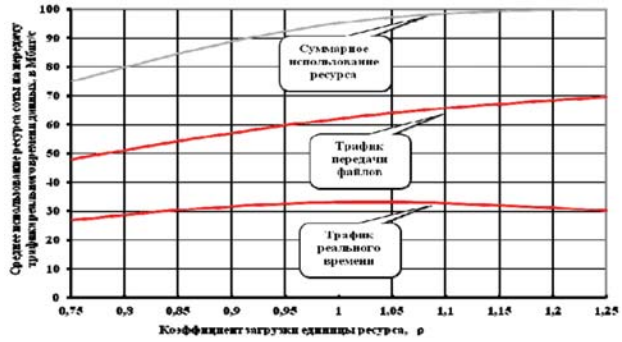


Рис. 2. Среднее использование ресурса соты на передачу трафика реального времени и данных при увеличении минимальной потенциальной загрузки единицы ресурса передачи соты поступающим трафиком

Показано, что с ростом нагрузки – ρ ресурс соты, использованный на передачу трафика реального времени сначала растет, а затем начинает уменьшаться. Это происходит из-за того, что минимальный ресурс, необходимый для обслуживания одной заявки на передачу файлов данных меньше, чем ресурс необходимый для передачи трафика реального времени. По этой причине заявки на передачу файлов вытесняют из обслуживания заявки на передачу трафика сервисов реального времени [7]. На рисунке также показано суммарное использование ресурса соты. С ростом ρ оно приближается к максимальной пропускной способности соты C = 100 Мбит/с.

Из условий построения модели следует, что при малой загрузке соты данные будут передаваться с максимально допустимой скоростью. В рассматриваемом примере c_d стремится к 5 Мбит/с. На рисунке 3 показаны результаты определения c_d. При этом с ростом нагрузки загрузка ресурса соты растет, поэтому трафик данных постепенно начинает обслуживаться с минимально допустимой скоростью c_1 = 1 Мбит/с и возникают перегрузки.

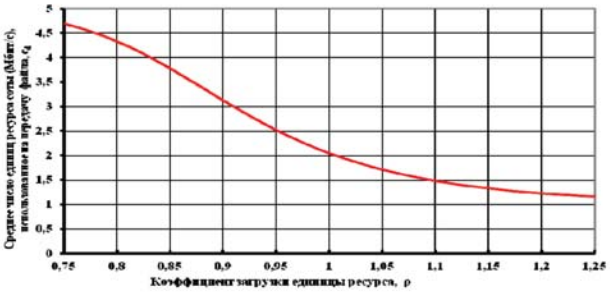


Рис. 3. Среднее использование ресурса соты на передачу файла при увеличении минимальной потенциальной загрузки единицы ресурса передачи соты поступающим трафиком

Выводы

В работе исследованы характеристики показателей совместного обслуживания заявок в соте сети LTE, реального времени и эластичного трафика данных для повышения загрузки ресурса соты. Построенная модель дает возможность численно оценить преимущества совместной передачи трафика речи и данных. Рассмотрено решение задач планирования пропускной способности соты, а также допустимого объема трафика, который может быть передан с заданными показателями качества обслуживания.

Литература

1. *Скрынников В.Г.* Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика. М.: Издательство «Спорт и Культура – 2000», 2012. 864 с.

2. *Степанов С.Н.* Модель обслуживания трафика сервисов реального времени и данных с динамически изменяемой скоростью передачи // Автоматика и телемеханика. 2010. № 1. С. 18-33.

3. *Степанов С.Н.* Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. I // Автоматика и телемеханика. 2011. № 4. С. 121-132.

4. *Степанов С.Н.* Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. II // Автоматика и телемеханика. 2011. № 5. С. 139-147.

5. *Антонова В.М.* Оценка канального ресурса для разноскоростных соединений на фрагменте сети LTE // Естественные и технические науки, 2014. № 10. С. 356-358.

6. *Антонова В.М., Маликова Е.Е.* Исследование взаимного влияния полезного и служебного трафика в сетях LTE // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2014, №9. С. 17-19.

7. *Антонова В.М., Цирик И.А.* Управление доступом новых требований на фрагменте сети LTE // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2015. Т. 15. № 5. С. 226-228.

8. http://www.mforum.ru/news/article/100885.htm (дата обращения 20.03.2017).

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:51 Page 25

ASPECTS OF THE BUILDING A SYSTEM OF NETWORK SYNCHRONIZATION SIGNALS IN FREQUENCY, PHASE SHIFT AND TIME

Antonova Veronika Mikhailovna, *Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia,* ***xarti@mail.ru***

Malikova Elena Egorovna, *Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia,* ***emalikova@gmail.com***

Abstract

Nowadays, about 300 LTE networks are operating in Russia. Their widespread deployment causes some difficulties to operators; in particular, problems arise when heterogeneous traffic is transmitted. Traffic in LTE networks can be divided into two kinds: the real-time traffic and the elastic one. The real-time traffic is delay sensitive and is to be conveyed at a fixed speed. This type of traffic comprises voice, videoconferencing of different quality and so on. The elastic traffic is generally used for data transmission; therefore its transfer rate can vary in proportion to the residual cell capacity. This may happen, for instance, while downloading files, transmitting M2M data for the Internet of things, etc. The process of conveying elastic traffic allows increasing the efficiency of network resources considerably. This is essential for mobile communications networks of LTE standard in which subscribers use devices with intelligent modems that increase the elastic traffic portion significantly. Simultaneous transmission of heterogeneous traffic over a network obviously needs some control tools that will ensure the desired quality of service (QoS) for arriving requests. Thereby when the transmission speed increases or decreases, the mean value of residual time for data file transfer decreases or increases proportionally. According to teletraffic theory, the requests for file transmission at the expense of spontaneous resource seizing force the requests for traffic transmission of real time services out of processing. One of the ways to control the cellular network throughput is to set limits to the speed of elastic data traffic transmission. In order to solve the given task the article considers the problem of programming the throughput and acceptable amount of traffic conveyed through the cell of an LTE network while transmitting it with the desired QoS.

Keywords: *LTE networks, elastic traffic, QoS, real time traffic, data transfer, network resource, traffic servicing model.*

References

1. Skrynnikov, V.G. (2012). *UMTS/LTE Radio Subsystems. Theory and Practice*. Moscow: Sport and Culture - 2000 Publishing House, 864 p. (*In Russian*)
2. Stepanov, S.N. (2010). The Model for Servicing the Real Time Traffic and Data with a Dynamically Changeable Speed of Transmission. *Automation and Remote Control*, Vol. 71, Issue 1, pp. 18-33. (*In Russian*)
3. Stepanov, S.N. (2011). Model of joint servicing of real-time service traffic and data traffic. I. *Automation and Remote Control*, Vol. 72, Issue 4. pp. 121-132. (*In Russian*)
4. Stepanov, S.N. (2011). Model of joint servicing of real-time service traffic and data traffic. II. *Automation and Remote Control,* Vol. 72, Issue 5. pp. 139-147. (*In Russian*)
5. Antonova, V.M. (2014). Channel Resource Assessment for Multi-Mode Links on an LTE Network Segment. *Natural and Technical Sciences*, No.10. pp. 356-358. (*In Russian*)
6. Antonova V.M., Malikova E.E. (2014). The Research of the Influence of the Service and the Information Traffic on Each Other in LTE Networks. *T-Comm*, No.9. pp. 17-19. (*In Russian*)
7. Antonova V.M., Tsirik I.A. (2015). Access Control of New Requests in an LTE Network Segment. *Fundamental Problems of Radioengineering and Device Construction,* Vol.15, No.5. pp. 226-228. (*In Russian*)
8. http://www.mforum.ru/news/article/100885.htm (usage date: 20.03.2017). (*In Russian*)

Information about authors:

Antonova Veronika Mikhailovna, Assistant, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Malikova Elena Egorovna, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:51 Page 26

СВЯЗЬ

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ЧС

Козаченко Юрий Михайлович,
ФГУП ЦНИИС, Москва, Россия,
kozachenko@zniis.ru

Патрина Надежда Сергеевна,
ФГУП ЦНИИС, Москва, Россия

Ключевые слова: *чрезвычайная ситуация, основное направление связи, приоритетный пользователь, дестабилизирующий фактор, связность, надёжность, живучесть, устойчивость, работоспособность, коэффициент готовности, экспертная оценка, дельфийский метод, паспорт безопасности.*

Последние десятилетия характеризуются значительным ростом числа природных и техногенных катастроф, которые зачастую сопровождаются гибелью людей и огромными материальными потерями. По данным МЧС [1] на территории РФ число природных катастроф ежегодно возрастает на 4%, а число материальных потерь от них – на 10,4%.

При возникновении чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера ряд государственных организаций проводят неотложные мероприятия по ликвидации последствий ЧС, включая спасение людей и материальных ценностей, оказание помощи пострадавшим, охрану правопорядка, обеспечение безопасности и обороноспособности страны, а также осуществляют государственное управление.

Проведение вышеуказанных мероприятий невозможно без надёжной и бесперебойной связи. Именно связь создаёт необходимые условия, которые нужны для успешного проведения поисково-спасательных работ и других неотложных мероприятий в зоне действия поражающих факторов. Поэтому одной из важнейших задач является прогнозирование уровня устойчивости сети связи в условиях воздействия на сетевую инфраструктуру различных дестабилизирующих факторов природного и техногенного характера.

Настоящая статья посвящается методологическому обеспечению определения уровня устойчивости транспортных сетей связи, ресурсы которых в условиях ЧС используются для передачи трафика приоритетных пользователей.

Информация об авторах:
Козаченко Юрий Михайлович*, начальник научного отдела, ФГУП "Центральный научно-исследовательский институт связи", Москва, Россия,*
Патрина Надежда Сергеевна*, ведущий инженер, ФГУП "Центральный научно-исследовательский институт связи", Москва, Россия*

Для цитирования:
Козаченко Ю.М., Патрина Н.С. Методическое обеспечение устойчивого функционирования сетей связи в условиях ЧС // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №9. С. 26-30.

For citation:
Kozachenko Yu.M., Patrina N.S. (2017). Methodological support of sustainable operation of communication networks in emergency situations. *T-Comm*, vol. 11, no.9, pp. 26-30. (*in Russian*)

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:51 Page 27

В настоящей статье рассматриваются сети связи, входящие в состав сети связи общего пользования, ресурсы пропускной способности которых в настоящее время используются для пропуска трафика приоритетных пользователей, а также те сети связи, ресурсы пропускной способности которых в условиях чрезвычайной ситуации (далее – ЧС) могут использоваться для создания резервных маршрутов в обход повреждённых участков основных направлений связи.

В сетях связи, в которых арендуются каналы и тракты в интересах приоритетных пользователей, формируются так называемые основные направления связи.

Основные направления связи представляют собой совокупность линий передачи и узлов связи, обеспечивающих передачу трафика приоритетных пользователей.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 31.12.2004 г. № 895 [2] к приоритетным пользователям относятся: Министерство обороны Российской Федерации, Министерство внутренних дел Российской Федерации, Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Федеральная служба безопасности Российской Федерации, Федеральная служба охраны Российской Федерации, Служба внешней разведки Российской Федерации, Министерство юстиции Российской Федерации, находящиеся в их ведении службы и агентства, а также координационные органы всех уровней единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

В условиях ЧС, когда на сеть связи могут воздействовать самые различные дестабилизирующие факторы, критически важно сохранить связность на основных направлениях связи и обеспечить бесперебойную передачу трафика приоритетных пользователей.

Актуальность этой задачи обусловлена тем, что именно в условиях ЧС приоритетными пользователями выполняются неотложные задачи по спасению людей и материальных ценностей. Также в условиях ЧС приоритетные пользователи должны обеспечивать охрану правопорядка, поддерживать на необходимом уровне безопасность и обороноспособность страны, осуществлять государственное управление.

Для выполнения всех этих функций нужна надёжная и бесперебойная связь.

Существующие требования к уровню устойчивости основных направлений связи установлены в 2008 г. в ГОСТе «Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования. Методы проверки.» [3].

Данный документ содержит методологию расчёта показателей надёжности и живучести основных направлений связи, а также требования к показателям устойчивости основных направлений связи при различных уровнях внешних дестабилизирующих воздействий.

Однако в указанном документе отсутствует какая-либо информация о том, как определить вероятность сохранения работоспособности сетевых элементов, которые попали в зону воздействия внешних дестабилизирующих факторов природного или техногенного характера. Без этих данных, которые характеризуют живучесть сетевых элементов, невозможно произвести расчёт показателей устойчивости основных направлений связи, и следовательно произвести оценку уровня их устойчивости. Информации о способах получения таких данных нет ни в научной литературе, ни в каких-либо нормативных документах РФ. Это позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время не существует формализованного метода, опирающегося на математическую модель, при помощи которого можно было бы осуществить оценку вероятности сохранения работоспособности сетевых элементов в условиях воздействия на них внешних дестабилизирующих факторов.

Для решения этой проблемы предлагается методика оценки уровня устойчивости основных направлений связи (далее – Методика), в которой для определения вероятности сохранения работоспособности сетевых элементов используется метод экспертной оценки.

Цель этой Методики, с одной стороны, предложить метод определения уровня устойчивости основных направлений связи в условиях ЧС природного и техногенного характера, который может быть реализован на практике, а с другой стороны, дать механизм для определения тех сетей связи других операторов, ресурсы пропускной способности которых целесообразно было бы использовать в условиях ЧС для резервирования повреждённых участков основных направлений связи, то есть определить те сети связи, показатели структурной надёжности и живучести которых отвечают заданным требованиям к вероятности связности основных направлений связи в условиях ЧС природного и техногенного характера.

В качестве природных и техногенных факторов в Методике предлагается рассматривать только те опасные природные явления и техногенные ЧС [4, 5], которые могут оказывать разрушающее воздействие на элементы сети связи или оказывать опасное воздействие на персонал узлов связи.

В число таких природных явлений, в первую очередь, входят:

- геологические опасные явления, включая землетрясения, извержения вулканов оползни, обвалы;
- гидрологические опасные явления, включая наводнения, цунами, сели, лавины;
- метеорологические опасные явления, включая вихри, ураганы, штормы, смерчи, шквалы, грозы);
- природные пожары, включая лесные, степные, торфяные.

В число техногенных ЧС входят:

- промышленные аварии и катастрофы, связанные, в первую очередь, с радиационным, химическим и биологическим загрязнением местности;
- пожары и взрывы, связанные с производством, хранением и транспортировкой легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ;
- опасные происшествия на транспорте, включая крушение поездов, аварии на дорогах, авиакатастрофы, аварии на газо- и нефтепроводах.

Действие этих источников ЧС может вызывать отказы оборудования узлов и линий связи, а при масштабном воздействии может привести к потере связности на основных направлениях связи.

Предлагаемая Методика предусматривает прогнозирование возможного ущерба, наносимого телекоммуникационной инфраструктуре вышеприведёнными источниками природных и техногенных ЧС. Это, в свою очередь, даёт возможность операторам связи вовремя принять превентивные

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:51 Page 28

меры по снижению рисков нарушения связности на основных направлениях связи.

Данная Методика ориентирована на использование в тех сетях магистрального, регионального и местного уровня, каналы и тракты которых арендуются приоритетными пользователями или используются для резервирования основных направлений связи.

Для обеспечения связности в условиях возможных масштабных разрушений телекоммуникационной инфраструктуры основных направлений связи (когда нарушение связности неизбежно или имеет высокую вероятность) необходимо создание обходных резервных маршрутов по сетям связи других операторов.

Учитывая необходимость создания таких маршрутов, в Методике предлагается предусмотреть определение уровня устойчивости тех сетей связи, ресурсы пропускной способности которых могут в условиях ЧС использоваться для резервирования повреждённых участков основных направлений связи.

Ключевой проблемой определения уровня устойчивости сети связи является определение вероятности того, что сетевой элемент, находящийся в зоне ЧС, при воздействии различных дестабилизирующих факторов, сохранит свою работоспособность.

Однако, как это было показано выше, в настоящее время не существует стандартных формализованных методов определения вероятности сохранения работоспособности сетевых элементов в условиях воздействия на них внешних дестабилизирующих факторов природного или техногенного характера (например, методов, основанных на экстраполяции или моделировании с использованием математико-статистических моделей).

В этом случае единственным выходом из положения является использование методов экспертной оценки событий.

Для получения численной оценки вероятности сохранения работоспособности сетевыми элементами в условиях ЧС предлагается использовать дельфийский метод коллективной экспертной оценки [6, 7].

При этом в целях получения исходных данных, необходимых для проведения экспертной оценки, предлагается использовать данные паспортов безопасности территорий субъектов Российской Федерации и муниципальных образований, разработанных органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органами местного самоуправления муниципальных образований и населённых пунктов в соответствии с Приказом МЧС РФ от 25.10.2004 г. № 484 [8]. В паспорте безопасности территории приводятся: характеристика расположенных на ней опасных объектов, а также показатели риска природных и техногенных чрезвычайных ситуаций.

Процедура экспертной оценки включает в себя:

- определение перечня внешних дестабилизирующих факторов, которые могут привести к нарушению работоспособности сетевых элементов, используемых в основных направлениях связи;
- определение перечня сетевых элементов, которые могут попасть в зону поражения;
- определение вероятности сохранения работоспособности сетевых элементов при различной интенсивности внешних воздействий.

Для решения этих задач на основе дельфийского метода предлагается создание двух групп специалистов в области связи – рабочей группы и группы независимых экспертов.

Рабочая группа осуществляет анализ данных паспортов безопасности и анализ телекоммуникационной инфраструктуры основных направлений связи. На основе этих данных составляются анкеты для опроса независимых экспертов. Эксперты для каждого сетевого элемента определяют весовой коэффициент, который отражает вероятность сохранения работоспособности сетевого элемента в условиях конкретного вида ЧС.

Рабочая группа производит статистическую обработку данных, полученных от экспертов, и при определённых условиях повторяет опрос экспертов, пока не будет получено некоторое согласованное мнение экспертов.

Учитывая, что устойчивость сети связи представляет собой совокупность свойств её надёжности и живучести, в Методике предлагается следующая последовательность действий при оценке уровня устойчивости основных направлений связи:

1) расчёт показателей надёжности сетевых элементов, используемых в основном направлении связи;
2) расчёт показателя надёжности основных направлений связи;
3) определение вероятности сохранения работоспособности сетевых элементов в условиях внешних воздействии различной интенсивности, т.е. показателя живучести;
4) расчет показателей устойчивости этих сетевых элементов;
5) расчёт вероятности связности основных направлений связи, представляющую собой показатель устойчивости.

Расчёт показателей надёжности и живучести, предложенный в Методике, базируется на методе, описанном в ГОСТ Р 53111-2008 [3].

Для проведения расчёта применяется способ формального описания структуры сети связи в виде графа и построение структурной схемы надёжности для основного направления связи, когда на графе задаётся двухполюсная сеть связи, обеспечивающая передачу информации между двумя узлами сети.

В качестве показателя надёжности используется коэффициент готовности, а в качестве показателя устойчивости — коэффициент оперативной готовности.

Определение вероятности связности основного направления связи осуществляется классическим методом оценки надежности последовательно-параллельных структур с применением способа исключения многократного учета коэффициента готовности (оперативной готовности) одного и того же сетевого элемента.

В качестве показателя устойчивости основного направления связи, используется коэффициент оперативной готовности двухполюсной сети связи, т.е. вероятность связности двухполюсной сети связи в условиях ЧС природного и техногенного характера, которая определяется по формуле:

$$\text{Ког}_{ij} = 1 - \prod_{\alpha \in m_{ij}} \left\{ 1 - \prod_{\alpha \in \mu_{ij}} P_\alpha(T) * \text{Кг}_\alpha \right\},$$

где Ког_{ij} – коэффициент оперативной готовности основного направления связи между узлами v_i и v_j;

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:52 Page 29

$Кг_\alpha$ – коэффициент готовности α-го элемента, принадлежащего пути μ_{ij}^k, то есть вероятность исправности этого элемента;

μ_{ij}^k – k-я простая цепь, принадлежащая множеству m_{ij};

m_{ij} – заданное множество простых цепей μ_{ij} между узлами v_i и v_j;

$P_\alpha(T)$ – вероятность сохранения работоспособности α-го элемента принадлежащего пути μ_{ij}^k при воздействии внешних дестабилизирующих факторов.

Значение $P_\alpha(T)$ определяется посредством экспертной оценки вероятности сохранения работоспособности элементов сети связи в условиях ЧС природного и техногенного характера.

Если разные простые цепи, принадлежащие множеству m_{ij}, взаимозависимы, то есть имеют общие ребра и узлы, то рассмотрение этих цепей как работающих параллельно даст завышенный результат вероятности связности. Для получения действительного результата в расчетной формуле после раскрытия скобок все показатели степени больше единицы следует заменить на единицу, что соответствует исключению события многократного учета коэффициента готовности одной и той же линии или узла.

Заключение

Предложен метод определения уровня устойчивости сетей связи, ресурсы пропускной способности которых используются для передачи трафика приоритетных пользователей, а также тех сетей связи, ресурсы пропускной способности которых целесообразно использовать в условиях ЧС для резервирования повреждённых участков основных направлений связи.

Метод определения уровня устойчивости основан на определении показателей надёжности и живучести сетевых элементов, а также основных направлений связи, в состав которых входят данные сетевые элементы.

Показатели надёжности и живучести определяются путём вычисления коэффициентов готовности и оперативной готовности сетевых элементов, а также вычисления коэффициентов готовности и оперативной готовности основных направлений связи. Вычисления осуществляются классическим методом оценки надежности последовательно-параллельных структур с применением способа исключения многократного учета коэффициента готовности (оперативной готовности) одного и того же сетевого элемента.

Установлено, что в настоящее время не существует стандартных формализованных методов определения живучести сетевых элементов (вероятности сохранения их работоспособности в условиях внешних воздействий дестабилизирующих факторов), опирающихся на точные математические модели.

В условиях, когда вероятность сохранения работоспособности сетевого элемента в ЧС (его живучесть) невозможно определить стандартными формализованными методами, предлагается использовать методы прогнозирования, основанные на методе коллективных экспертных оценок.

В качестве метода коллективной экспертной оценки предложен дельфийский метод, в котором надёжность экспертных оценок базируется на предположении, что в случае получения близких результатов независимых экспертов конечный (средний) результат близок к истине.

Предложенный метод прогнозирования позволяет заранее определить уязвимости в тех сетях связи, ресурсы пропускной способности которых используются приоритетными пользователями. Это позволяет операторам связи заранее принять превентивные меры по повышению катастрофоустойчивости инфраструктуры основных направлений связи.

Там, где существует вероятность масштабных катастроф, неизбежно приводящих к нарушению связности на основных направлениях связи, целесообразно заранее подготовить обходные резервные маршруты, проложенные по сетям связи других операторов. Поэтому в статье предлагается определять также и уровень устойчивости тех сетей связи, ресурсы пропускной способности которых могут в условиях ЧС использоваться для резервирования повреждённых участков основных направлений связи.

Литература

1 МЧС: число опасных природных бедствий в мире ежегодно возрастает на 4% – [Электронный ресурс] – Режим доступа – https://ria.ru/society/20151009/1299343545.html (дата обращения – 12.04.2017).

2 Постановление Правительства РФ от 31.12.2004 г. № 895 «Об утверждении Положения о приоритетном использовании, а также приостановлении или ограничении использования любых сетей связи и средств связи во время чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»

3 ГОСТ Р 53111-2008 Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки.

4 ГОСТ Р 22.0.03-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.

5 ГОСТ 22.0.05-97/ГОСТ Р 22.0.05-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.

6 *Орлов А.И.* Теория принятия решений: Учебное пособие М.: Март, 2004. 656 с.

7 Метод «Дельфи» как метод оценки уровня риска – [Электронный ресурс] – Режим доступа – http://studopedia.ru/14_68475_metod-delfi-kak-metod-otsenki-urovnya-riska.html (дата обращения – 25.04.2017).

8 Приказ МЧС РФ от 25.10.2004 г. № 484 «Об утверждении типового паспорта безопасности территорий субъектов Российской Федерации и муниципальных образований».

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:52 Page 30

METHODOLOGICAL SUPPORT OF SUSTAINABLE OPERATION OF COMMUNICATION NETWORKS IN EMERGENCY SITUATIONS

Yuri M. Kozachenko, *FSUE ZNIIS, Moscow, Russia,* ***kozachenko@zniis.ru***
Nadezhda S. Patrina, *FSUE ZNIIS, Moscow, Russia*

Abstract

The last decades are characterized by a significant increase in the number of natural and man-made disasters, which are often accompanied by loss of lives and huge material losses. According to the MCHS [1] the number of natural disasters in the Russian Federation annually increases by 4%, and the number of material losses from them – by 10.4%.
In the event of emergencies (natural and man-made) a number of state organizations carry out urgent measures to eliminate the consequences of emergency situations, including saving people and property, providing assistance to the victims, protecting the rule of law, ensuring the security and defense capability of the country, and also carry out state management.
Carrying out the above measures is impossible without reliable and uninterrupted communication. It is the communication that creates the necessary conditions that are necessary for the successful conduct of search and rescue operations and other urgent measures in the zone of effect of the damaging factors. Therefore, one of the most important tasks is to predict the level of stability of the communication network under the impact on the network infrastructure of various destabilizing factors of natural and man-made nature.
This article is devoted to methodological support for determining the level of stability of transport communication networks, whose resources in conditions of emergency are used to transmit priority users traffic.

Keywords: *emergency situation, the main direction of communication, priority user, destabilizing factor, connectivity, reliability, survivability, sustainability, operability, availability ratio, expert evaluation, the Delphi method, safety data sheets.*

References

1. MCHS: the number of dangerous natural disasters in the world increases annually by 4% [Electronic resource] – Access mode – https://ria.ru/society/20151009/1299343545.html (date of access – 12.04.2017). (*In Russian*)
2. Resolution of the Government of the Russian Federation of 31.12.2004 № 895 "On approval of the Regulation on priority use, as well as suspension or restriction of the use of any communication networks and communication facilities during emergency situations of natural and man-made nature"
3. GOST R 53111-2008 Stability of functioning of the public communications network. Requirements and check methods. (*In Russian*)
4. GOST R 22.0.03-95 Safety in emergencies. Natural emergencies. Terms and definitions. (*In Russian*)
5. GOST 22.0.05-97/ГОСТ Р 22.0.05-94. Safety in emergencies. Technogenic emergencies. Terms and definitions. (*In Russian*)
6. Orlov A. I. (2004). *Theory of decision making: Tutorial.* M.: Mart. 656 p. (*In Russian*)
7. The "Delphi" method as a method of assessing the level of risk - [Electronic resource] – Access mode – http://studopedia.ru/14_68475_metod-delfi-kak-metod-otsenki-urovnya-riska.html (date of access - 25.04.2017). (*In Russian*)
8. The order of the Ministry of Emergency Measures of the Russian Federation of 25.10.2004 № 484 "On the approval of the standard safety data sheet for the territories of Subjects of the Russian Federation and municipal formations". (*In Russian*)

Information about authors:
Yuri Kozachenko, FSUE ZNIIS, head of scientific department, Moscow, Russia
Nadezhda Patrina, FSUE ZNIIS, lead engineer, Moscow, Russia

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:52 Page 31

ПРОГНОЗИРУЮЩЕЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Люкина Елена Валерьевна,
МТУСИ, Москва, Россия, smetianta@gmail.com

Чернышева Татьяна Васильевна,
МТУСИ, Москва, Россия, krba2012@yandex.ru

Литвин Семен Анатольевич,
МТУСИ, Москва, Россия, simon.litvin@gmail.com

Яновский Алексей Сергеевич,
МТУСИ, Москва, Россия, firinya@gmail.com

Ключевые слова: *акустическое проектирование помещений, звуковой сигнал, энергетические, спектральные и динамические характеристики, модель разрабатываемого зала, компьютерное моделирование, база характеристик реальных залов.*

Предметом исследования является акустическое проектирование помещений. Целью работы является исследование применимости метода комплексной статистической оценки для акустического проектирования помещений с учетом наиболее важных характеристик звуковых сигналов. При этом используются энергетические, спектральные и динамические характеристиках сигнала. Измерения проводятся на фрагментах звукового материала, записанных в нескольких широко известных залах г. Москвы. Приводятся результаты исследования характеристик звукового сигнала, во многом определяющих оценку качества звучания слушателем. Показано, что любой звуковой сигнал содержит в себе два вида информации – семантическую (смысловую) и эстетическую (эмоциональную).
При измерениях было предложено использовались следующие параметры звукового сигнала: дифференциальную относительную среднюю мощность, которая косвенно определяет градации громкости звучания; крутизну нарастания и спада аналитической огибающей звукового сигнала, которая определяет ясность звучания; тональную чистоту, оцениваемую с помощью обработки результатов кепстрального анализа звучания. Исследования проводились с использованием записей широкополосных симфонических произведений общей длительностью около 12 часов (для каждого из залов), что превышает интервал стационарности для используемых параметров. Для формирования оценок использовалось программное обеспечение ESTIM, разработанное на кафедре ТиЗВ МТУСИ. Полученная совокупность статистических оценок позволяет, исследуя результаты моделирования прохождения звукового сигнала через модель вновь разрабатываемого зала, оценить степень его приближения по акустическим характеристикам к "опорным" залам. В дальнейшем предполагается сформировать базу акустических эталонов для сопоставления характеристик с концертными залами по всему миру.

Информация об авторах:
Люкина Елена Валерьевна, *Московский технический университет связи и информатики, аспирант, Москва, Россия*
Чернышева Татьяна Васильевна, *Московский технический университет связи и информатики, доцент, Москва, Россия*
Литвин Семен Анатольевич, *Московский технический университет свя-зи и информатики, доцент, Москва, Россия*
Яновский Алексей Сергеевич, *Московский технический университет связи и информатики, аспирант, Москва, Россия*

Для цитирования:
Люкина Е.В., Чернышева Т.В., Литвин С.А., Яновский А.С. Прогнозирующее моделирование при акустическом проектировании // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №9. С. 31-36.

For citation:
Liukina E.V., Chernyshova T.V., Litvin S.A., Janovskiy A.S. (2017). Prediction modeling for akusticheskm designing. *T-Comm*, vol. 11, no.9, pp. 31-36. (*in Russian*)

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:52 Page 32

При проектировании помещений (например, концертных залов) неизбежно возникает задача прогнозирования качественных показателей звучания в них. Судить о таких показателях можно лишь на основе результатов, предоставляемых программными средами 3D-моделирования архитектурной акустики (например, фирмы AFMG). Однако, точность такого прогноза остается невысокой.

Следует отметить, что весьма полезной функцией некоторых сред моделирования является возможность получить аудиосигнал, смоделированный для заданной точки зала, и, прослушав его, оценить субъективные качественные показатели смоделированного зала. Для повышения точности моделирования при акустическом проектировании (т.е. повышения точности прогнозируемых параметров помещения) предлагается дополнительно производить детальный анализ объективных статистических параметров указанного аудиосигнала.

На кафедре ТиЗВ МТУСИ уже много лет проводятся исследования объективных статистических параметров звуковых сигналов, передаваемых в каналах и трактах радиовещания и телевидения (т.н. вещательных сигналов - ВС). Анализ указанных параметров позволяет прогнозировать субъективное качество звучания ВС, прошедших сложные комбинированные каналы (включающие современную динамическую и пространственную обработку, психоакустическое кодирование). Имеющиеся на кафедре ТиЗВ наработки показывают возможность распространения подхода МКСО с анализа вещательных сигналов на анализ аудиосигналов, полученных в результате акустического моделирования помещений. Прогнозирование качественных показателей звучания проектируемого зала предлагается делать с использованием вычисленных ранее параметров «опорных» существующих концертных залов, для чего следует накапливать базу параметров таких залов.

В рамках проведенного авторами предварительного исследования были сформированы статистические портреты аудиосигналов, записанных в трех залах г. Москвы (были выбраны Большой зал Консерватории, Светлановский зал Московского международного Дома музыки, Концертный зал имени П.И. Чайковского). Суммарная длительность аудиозаписи в каждом зале должна составлять не менее 12 часов, что позволяет сформировать несмещаемую статистическую оценку исследуемых параметров.

Разработанное на кафедре программное обеспечение ESTIM [6], реализующее метод комплексного статистического оценивания (МКСО), формирует *энергетические, спектральные и динамические* характеристиках сигнала [4]. При измерении использовались следующие параметры звукового сигнала: относительная средняя мощность (ОСМ), которая определяет «энергичность» или громкость звучания; крутизна нарастания и спада аналитической огибающей звучания, которая определяет ясность звучания; спектральный баланс свойственный исследуемому помещению, измеряемый по огибающей амплитудного спектра; тональная чистота, оцениваемая с помощью обработки результатов кепстрального анализа звучания; ритмические характеристики звучания; субъективные параметры, определяемые уровнем шумов характерным для процессов звукоизвлечения из музыкальных инструментов или уровнем шумов придыхания исполнителей

Исследования проводились с использованием записей широкополосных симфонических произведений общей длительностью около 8 часов, что превышает интервал стационарности для используемых параметров. Для формирования оценок использовалась программа ESTIM [6], разработанная на кафедре ТиЗВ МТУСИ.

Известно, что звуковой сигнал (ЗС) заключает в себе два вида информации – семантическую (смысловую) и эстетическую (эмоциональную). Известно достаточно четкое определение этих видов информации [1, 4]:

смысловая информация - это логическая информация, связанная со структурой сообщения, поддающаяся точной формулировке, переводимая, вызывающая определенные действия;

эмоциональная - информация непереводимая, вызывающая определенные психологические состояния.

Для речевого сигнала смысловая информативность, в основном, определяется разборчивостью, для музыкального - возможностью определить мелодию, инструментовку, состав оркестра. Эстетическая информация передается тембром, динамикой, перепадом уровней.

При исследовании *энергетических* свойств звуковых сигналов, передаваемых по каналам связи или записываемых на носители (т.е. вещательных сигналов), принято оперировать оценками относительной средней мощности (ОСМ). Значения ОСМ вычисляются на последовательных временных отрезках сигнала, равных по длительности времени интеграции слуха по громкости, – 200 мс. В рамках каждого отрезка (интервала) анализа ОСМ определяется отношением средней мощности сигнала к мощности гармонического сигнала с амплитудой, равной номинальному значению ВС. Применяется также и дифференциальный параметр - дОСМ, определяемый разностью значений ОСМ на смежных интервалах анализа. Этот параметр характеризует динамику изменения громкости ЗС.

Измерение мощности дискретизированного сигнала - нетривиальная задача. До настоящего времени, она решалась простым суммированием квадратов абсолютных значений временных отсчетов с последующим усреднением. При измерении мощности реальных сигналов возникает достаточно большая погрешность, а на частотах, кратных частоте дискретизации (Fд), ошибка может достигать вообще 50 %. Повысить точность измерения относительной средней мощности удается при комплексном представлении сигнала звукового вещания с использованием преобразования Гильберта. В свою очередь преобразование Гильберта (для широкополосного звукового сигнала) реализовано с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) со взвешиванием окном Наттола. При этом применяются 50% перекрытие отрезков сигнала и коррекция выходного сигнала дополнительным окном. При длительности отрезков сигнала не менее 4000 дискретных отсчетов ошибка синтеза ортогонального сигнала не превышает 10^{-5} в полосе существования звукового сигнала.

Дальнейшее повышение точности расчета ОСМ сдерживается ошибками измерения пиковых значений сигнала, связанными с тем, что моменты возникновения пиков не совпадают с моментами взятия дискретных отсчетов сигнала. В разработанном способе измерения

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:52 Page 33

необходимая точность достигается за счет неискажающего повышения частоты дискретизации, которое производится в частотной области за счет добавления нулевых коэффициентов дискретного преобразования Фурье в области частот, выше диапазона существования звукового сигнала. Проведенное моделирование подтвердило эффективность способа и возможность точной оценки пиковых значений сигнала звукового вещания обеспечивается при Fд > 500 кГц с ошибкой, не более -92 дБ, в то время как традиционные мультиплексоры, работающие во временной области, в моменты нестационарности сигнала имеют гораздо более широкий диапазон ошибок - до -40 дБ [7].

Очевидна целесообразность измерения относительной средней мощности не только на регулярной длительности в 200 мс, но и на длительности звуковых объектов и отдельных звучаний, воспринимаемых слушателем, как отдельное звуковое событие. Деление сигнала на звуковые объекты реализуется по изменениям двух параметров: аналитической амплитуды (гильбертовской огибающей) и приращению фазы (мгновенной частоты) после низкочастотной (НЧ) фильтрации. Границей звукового объекта считается точка максимальных изменений функций, оцениваемых по двум параметрам: сериального коэффициента корреляции и коэффициента изменения среднего смежных интервалов анализа. В разных залах ОСМ и дОСМ могут отличаться за счет некоторых отличий частотных характеристик звукопоглощения, соотношения интенсивности прямого и отраженных волн. На рисунке 1 приведены примеры измерения дОСМ для трех исследуемых залов (показаны нижние и верхние предельные значения).

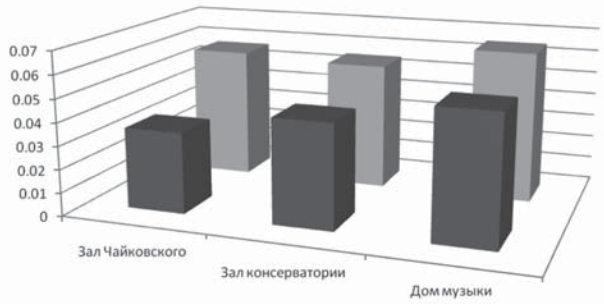


Рис. 1

Нормируя значения средней мощности ЗС к пиковым значениям сигнала на интервалах формирования ощущения громкости (τ = 160…200 мс), формируем «сигнальную» разновидность параметра ОСМ – параметр ОСМс, который коррелирован с психологическим воздействием сигнала, оцененным по шкале «торможение – возбуждение». В качестве примера на рис. 2, 3 черным цветом построены статистические распределения значений ОСМс ЗС при воспроизведении популярной (рис. 2) и классической музыки (рис. 3). На этих же рисунках дополнительно указаны две заштрихованных области: левая, образованная совокупностью распределений ОСМс сигналов «возбуждающего» воздействия, и правая – «успокаивающего» воздействия. Смещение распределения за счет характеристик зала сопровождается изменением воздействия музыкального произведения. Вычисленные значения ОСМс и дОСМс для исследуемых залов представлены на рис. 4 и 5 (показаны минимальные и максимальные значения).

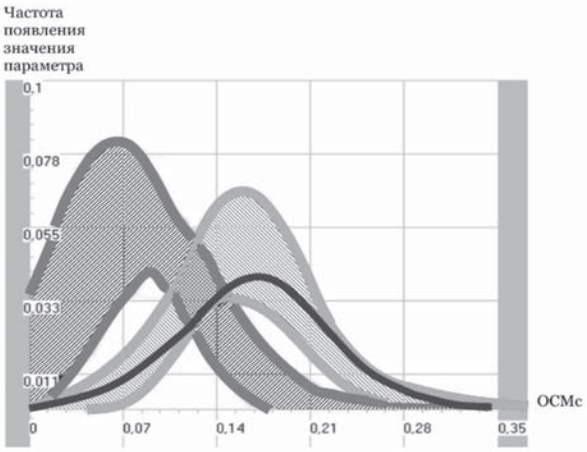


Рис. 2

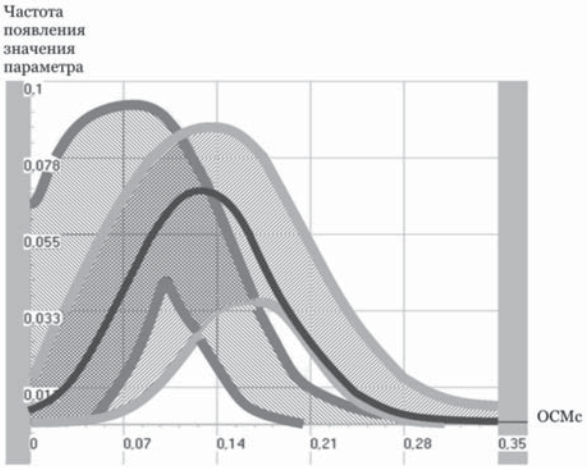


Рис. 3

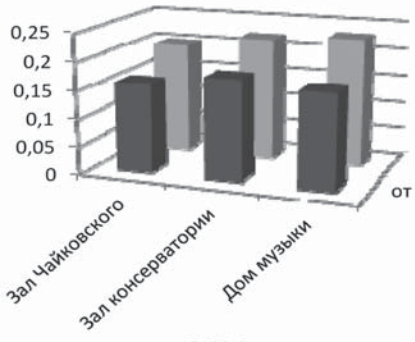
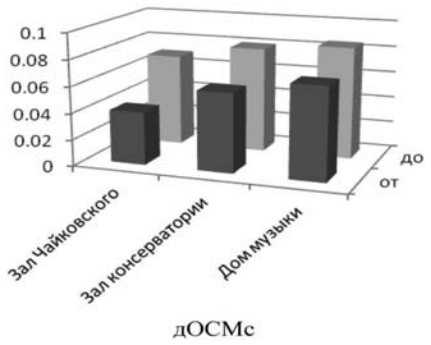


Рис. 4

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:53 Page 34



дОСМс

Рис. 5

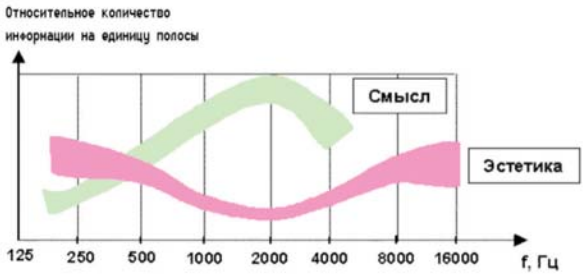


Рис. 6

Известны результаты исследований (рис. 6) относительного распределения количества информации на единицу полосы частот, которые показали, что максимум энергии, определяющей восприятие смысловой информации, сконцентрирован в области 1…4 кГц, а эстетической - в областях ниже 0,5 и выше 8 кГц. Логично предположить, что влияние частотных характеристик зала на спектральную огибающую ЗС в месте расположения слушателя, окажет влияние на эмоциональность восприятия музыки.

При оценке звуковых сигналов особый интерес вызывают периодические компоненты, для выявления которых используется классическое преобразование Фурье. Однако конечная длительность интервала наблюдения при реализации дискретного преобразования Фурье или его быстрого алгоритма вычисления (БПФ) влияет на различимость близко расположенных тонов и точность оценок параметров сигнала.

Известно, что максимально верная оценка может быть получена для колебаний, укладывающихся на длительности анализа целое число раз, совпадающее с номером коэффициента преобразования. При фиксированной длительности анализируемой последовательности сдвинуть по частоте коэффициенты преобразования невозможно, а вот сдвинуть спектр самого сигнала вполне реально. Эта идея и была использована авторами для повышения точности формирования спектральных оценок ЗС, про который заведомо известно, что разнос спектральных составляющих не может быть меньше основного тона, а основной тон голоса или музыкальных инструментов редко бывает ниже 50…70 Гц.

Для формирования оценки используется, кроме результатов БПФ-анализа самого сигнала, параллельный анализ набора сигналов, транспонированных по частоте в пределах бина (частотного разноса между двумя ближайшими коэффициентами ДПФ). А именно – максимальный по амплитуде коэффициент из набора, относящегося к коэффициенту с данным номером, принимается в качестве коэффициента оценки. В результате оценка формируется на нерегулярной частотной шкале с максимальной концентрацией энергии в каждом коэффициенте. Формирование оценки с помощью сдвига спектра производится в два этапа: на первом этапе определяется положение спектральных составляющих на шкале частот с использованием окна, снижающего влияние боковых лепестков, а на втором – оценивание их параметров на прямоугольном окне. Параметры, характеризующие разрешающую способность анализа с применением сдвига, определяются первым окном, а параметры оценки – вторым. По результатам измерений тестовых сигналов, используя при формировании спектральной оценки информацию о промежуточных ее значениях между бинами, полученную в результате анализа набора транспонированных сигналов, удается:

– повысить точность определения частоты спектральной составляющей (для однокомпонентного сигнала максимальная погрешность составит величину, обратно пропорциональную удвоенному количеству сдвигов, в частности при N = 256, F = 16 кГц и 64 сдвигах ошибка не превышает 0,49 Гц);

– повысить точность определения амплитуды при тех же условиях до 0,03% (следует учитывать, что в данном случае отсутствует ошибка округления, поскольку гармонический тестовый сигнал синтезирован непосредственно в ходе проведения оценки);

– практически устранить паразитную АМ;

– реализовать теоретически достижимую разрешающую способность окна, которая при БПФ-оценке реализуется только при определенном сочетании фаз и частот спектральных составляющих, для составляющих с произвольными параметрами. Кроме того, появляется возможность формирования оценки, соответствующей фазе спектральной составляющей, с точностью до 0,02 рад, [8, 9].

Существенное влияние на оценку качества звучания оказывают *параметры формы его огибающей* [4]. Наиболее информативный участок отдельного звучания (звукового объекта) - участок нарастания уровня или изменения спектрального состава - принято называть «*атакой*». Существенное влияние на эмоциональную информативность звукового сигнала оказывают фазы квазистационарности (поддержки) и спада. Выявление участков нарастания и спада также осуществляется при анализе низкочастотной аналитической огибающей. После низкочастотной фильтрации анализируется приращение огибающей сигнала. На каждой выборке определяется функция Z_i : «+1» – увеличение амплитуды огибающей, «-1» – при уменьшении и «0» – при отсутствии изменений. При расчете принята критическая длительность, около 5 мс, на которой учитывается наличие нарастания или спада.

Выявление участков нарастания и спада позволяет проводить оценку искажений крутизны атак, определяющих смысловую информативность сигнала, а также спадов, во многом определяющих эмоциональное воздействие сигнала звукового вещания.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:53 Page 35

Сигналы с более яркой, подчеркнутой эмоциональной окрашенностью, имеют более крутые фронты (атаки) и спады. Спад сигнала во многом определяется акустической обстановкой зала, и существенно влияет на эстетическое восприятие звучания. В качестве параметров формы огибающей ЗС в МКСО, используется *крутизна нарастания и спада его аналитической огибающей.* На рисунках 7 и 8 приведены их средние значения.

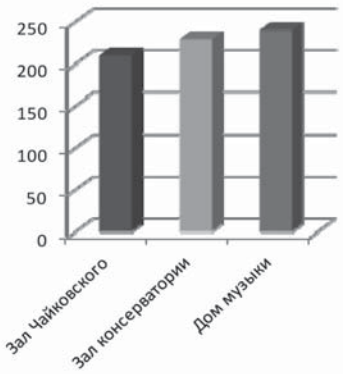


Рис. 7. Средняя крутизна атак, дБ/с

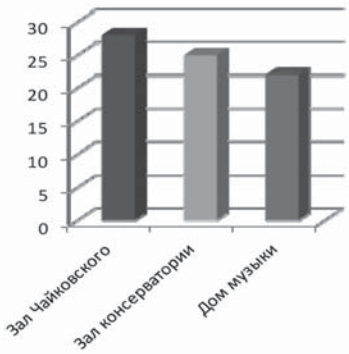


Рис. 8. Средняя крутизна спадов, дБ/с

Изменение крутизны атак во многом определяет оценку качества звучания слушателем и восприятие семантической информации, крутизна спадов определяет эстетическую информативность сигнала.

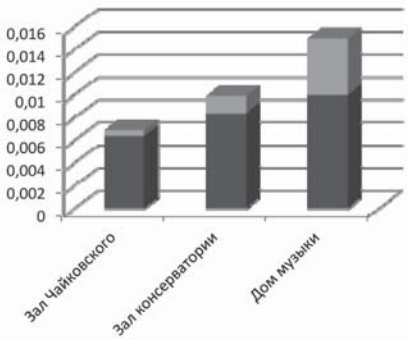


Рис. 9. Пик-фактор кепстра

Эффективным параметром оценки внутренней спектральной структуры аудиосигнала, степени гармоничности его звучания, является его *кепстр* - повторное преобразование Фурье логарифма амплитудного спектра сигнала. На рисунке 9 приведена оценка пик-фактора кепстров для звуковых сигналов прозвучавших в разных залах.

Таблица 1

Исследуемое помещение	Зал Чайковского	Зал консерватории	Дом музыки
Параметр	Диапазон значений параметра		
Энергетические параметры			
дОСМк	0,035…0,057	0,045…0,055	0,055…0,065
ОСМс	0,16…..0,20	0,18….0,22	0,17….0,23
дОСМс	0,04….0,07	0,06….0,08	0,07….0,085
Параметры формы			
Средняя крутизна атак, дБ/с	210	230	240
Средняя крутизна спадов, дБ/с	28	25	22
Преобладающие ритмические частоты, Гц	0,05…0,25	0,1…0,35	0,1…0,4
Спектральные параметры			
Пик-фактор кепстра	0,0064..0,0069	0,0084..0,0099	0,01..0,015

Предварительное исследование комплексных статистических параметров аудиосигналов, записанных в нескольких концертных залах Москвы, показывает существенное различие их параметров. Использование этих залов в качестве «опорных» (а вообще говоря, использование базы «опорных» залов) позволит прогнозировать близость звучания проектируемого зала к известным, что может повысить точность этапа 3D-моделирования при акустическом проектировании залов.

Литература

1. *Алдошина И.А., Приттс Р.* Музыкальная акустика. СПб.: Композитор – Санкт-Петербург, 2006. 720 с. С.451-557.
2. Рекомендации по проектированию концертных залов». Москомархитектура, 2004.
3. *Качерович А.Н.* Акустика зрительного зала. М.: Искусство, 1968.
4. *Попов О.Б., Рихтер С.Г.* Цифровая обработка и измерения сигналов в трактах звукового вещания. М.: Инсвязьиздат, 2010. 292 с.
5. http://www.afmg.eu.
6. *Абрамов В.А., Малов А.В., Попов О.Б., Ождихин Г.А., Черников К.В.* Программа анализа параметров сигналов звукового вещания «ESTIM». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013616645 от 15 июля 2013.
7. *Попов О.Б., Рихтер С.Г., Абрамов В.А.* Патент РФ №2458340 «Способ измерения мгновенных и средних значений абсолютной и относительной мощности акустических сигналов и устройство для его осуществления», Опубл. БИ №22. 10.08.2012.
8. *Абрамов В.А., Попов О.Б.* Способ измерения спектра информационных акустических сигналов телерадиовещания и устройство для его осуществления, Патент RU 2573248 C2, Опубликован 20.01.2016, БИ №2.
9. *Абрамов В.А., Попов О.Б., Черников К.В.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013617341 от 09.08.2013 Программа «Точный спектральный анализ звукового сигнала «Spectran»».

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:54 Page 36

PREDICTION MODELING FOR AKUSTICHESKM DESIGNING

Elena V. Liukina, *Moscow Technical University of communications and Informatics, Moscow, Russia,* ***smetianta@gmail.com***
Tatyana V. Chernyshova, *Moscow Technical University of communications and Informatics, Moscow, Russia,* ***krba2012@yandex.ru***
Semyon Anatolyevich Litvin, *Moscow Technical University of communications and Informatics, Moscow, Russia,* ***simon.litvin@gmail.co***
Aleksey Sergeevich Janovskiy, *Moscow Technical University of communica-tions and Informatics, Moscow, Russia,* ***firinya@gmail.com***

Abstract
The subject of research is acoustic design of premises. The aim of the research is to investigate the applicability of the method of complex statistical evaluation for acoustic design of the premises, taking into account the most important characteristics of the sound signals. It is shown that any sound signal contains two types of information – semantic and aesthetic (emotional). That possibility has occurred to date based on the settings of the sound signal to predict its effect on the listener. It uses energy, spectral and dynamical characteristics of the signal. Measurements are carried out on sound material recorded in each of the halls. The results of the research of the characteristics of the sound signal, which largely determine the evaluation of the sound quality by the listener, are shown in several well-known halls. When the measurements were invited the following parameters were used: the sound signal differential relative average power, which indirectly determines the loudness of the sound; the rate of rise and decline of analytical baseband of audio signal, which determines the clarity of sound; tonal purity, evaluated by processing the results of the cepstral analysis of sound. The research were conducted using broadband records symphonic compositions with a total duration of about 12 hours (for each of the halls), which exceeds the stationarity interval for parameters used. ESTIM software, developed at the department of "Television and Sound Broadcasting" of MTUCI, was used to form the estimates. The resulting set of statistical estimates allows, by examining the results of simulating the passage of an audio signal through the model of a newly developed hall, to estimate the degree of its approximation by acoustic characteristics to "reference" halls. In the future it is supposed to form the database of acoustic standards for comparing the characteristics with concert halls around the world.

Keywords: *acoustic design of the premises, sound signal, energy, spectral and dynamic characteristics, model of a projected hall, computer simulation, database of characteristics of real premises.*

References

1. Aldoshina I.A., Pritts R. (2006). *Musical acoustics*. Spb.: componentszitor Saint-Petersburg. 720 p. Pp. 451-557. (*In Russian*)
2. *Recommendations for the design of concert halls*. Moskomarhitektour, 2004. (*In Russian*)
3. Kacherovich A.N. (1968). *Acoustics of the Auditorium*. Moscow: Iskusstvo. (*In Russian*)
4. Popov O.B., Richter S.G. (2010). *Digital processing and measurement signals tracts sound broadcast*. Moscow: Insvjaz'izdat. 292 p.
5. http://www.afmg.eu/ (*In Russian*)
6. Abramov V.A., Malov A.V., Popov O.B., Ozhdihin G.A., Chernikov K.V. (2013). *Analysis of Programme signals audio broadcasting "ESTIM"*. Certificate about State registration of computer programs no.2013616645 of July 15, 2013. (*In Russian*)
7. Abramov V.A., Popov O.B., Rikhter S.G. (2012). *Method of measuring instantaneous and average values of absolute and relative power of acoustic signals and apparatus for realising said method*. Patent RU 2458340. 2012 Aug 10 №22. (*In Russian*)
8. Abramov V.A., Popov O.B. (2016). *Method of measuring the spectrum of information acoustic signals of television and radio broadcasting and apparatus for realising said method*, Patent RU 2573248 C2, 2016 Jan 20 №2. (*In Russian*)
9. Abramov V.A., Popov O.B., Chernikov K.V. (2013). *Accurate spectral analysis of the sound signal "Spectran"*. Certificate about State registration of computer programs no.201361734 1of Aug 09, 2013. (*In Russian*)

Information about authors:
Liukina Elena Valer'evna, Moscow Technical University of communications and Informatics, postgraduate student,
Chernyshova Tatyana Vasil'evna, Moscow Technical University of commu-nications and Informatics Committee, Associate Professor,
Litvin Semyon Anatolyevich, the Moscow Technical University of communi-cations and Informatics, Associate Professor,
Janovskiy Aleksey Sergeevich, Moscow Technical University of communica-tions and Informatics, postgraduate student

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:54 Page 37

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ RFID-ТЕХНОЛОГИИ НА КРУГОВОЙ МЕАНДР-ЛИНИИ

Елизаров Андрей Альбертович,
НИУ "ВШЭ", Москва, Россия, ***a.yelizarov@hse.ru***

Нестеренко Анастасия Николаевна,
НИУ "ВШЭ", Москва, Россия, ***nnasty16@yandex.ru***

Закирова Эльмира Алексеевна,
ВНИИ Автоматики им. Н.Л.Духова, Москва, Россия,
jekyll1604@mail.ru

Кухаренко Александр Сергеевич,
ООО "Сбербанк-Сервис", Москва, Россия,
alexk.05@mail.ru

Статья подготовлена в результате проведения исследования (№ 17-05-0009) в рамках Программы "Научный фонд Национального исследовательского университета "Высшая школа экономики" (НИУ ВШЭ)" в 2017-2018 гг. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации "5-100".

Ключевые слова: *RFID-технология, микрополосковая антенна, круговая меандр-линия.*

Актуальной проблемой для современного этапа развития средств связи и телекоммуникаций является преобразование физической информации в виртуальную. Для ее решения часто применяется технология радиочастотной идентификации или RFID (Radio Frequency IDentification). Преобразование информации в физическую форму осуществляется путем бесконтактного считывания данных, которые записаны в метках, прикрепленных к живым или неживым объектам [1, 2]. Системы RFID помогают считывать информацию, которая находится вне пределов видимости. Виртуальная информация хранится в метке, прикрепленной к объекту, и преобразование в физическую форму происходит за счет бесконтактного считывания данных с этой метки. Метка представляет собой микрочип с прикрепленной к нему антенной. Связь между меткой и считывателем может быть двух видов: емкостной (при использовании электрического поля) и индуктивной (при использовании магнитного поля).

Наилучшими характеристиками обладают антенны, у которых хотя бы один из линейных размеров (длина или ширина) равен половине длины волны. Такая антенна ведет себя как резонатор. Существует несколько типов резонансных антенн. В системах RFID наибольшую распространенность получили фольгированные полуволновые диполи и микрополосковые (патчевые) антенны различных конфигураций [2]. Микрополосковые излучатели изготавливаются как планарные антенны, которые печатаются на диэлектрическую пластину. Обычно они состоят из трех слоев: сверху - проводящая пластина (патч), посередине - диэлектрический слой (подложка), в основании - проводящая металлическая пластина (экран). В качестве диэлектрика используются широко распространенные материалы, применяемые для высокочастотных печатных плат, например, фторопласт, поликор или другие.

Использование в микрополосковых антеннах для радиочастотной идентификации спиральных и меандровых структур позволяет создавать миниатюрные излучатели, геометрические размеры которых много меньше излучаемых или принимаемых длин волн [3 - 5]. Таким условиям удовлетворяют, например, микрополосковые спиральные антенны. В основе таких антенн лежит круговой или прямоугольный резонатор с логарифмическим, арифметическим или эллиптическим видом намотки спирали. Антенная структура имеет осевое излучение, поляризованное по кругу или эллипсу. Однако в дальней зоне поляризация таких антенн становится линейной [6, 7]. Это приводит к ухудшению кроссполяризационных свойств и затрудняет возможности их применения для радиочастотной идентификации в диапазоне 866-915 МГц.

Информация об авторах:
Елизаров Андрей Альбертович, *д.т.н., профессор, НИУ "ВШЭ", Департамент электронной инженерии, Москва, Россия*
Нестеренко Анастасия Николаевна, *магистрант, НИУ "ВШЭ", Департамент электронной инженерии, Москва, Россия*
Закирова Эльмира Алексеевна, *к.т.н., инженер-конструктор, ВНИИ Автоматики им. Н.Л.Духова, Москва, Россия*
Кухаренко Александр Сергеевич, *к.т.н., главный инженер, ООО "Сбербанк-Сервис", Москва, Россия*

Для цитирования:
Елизаров А.А., Нестеренко А.Н., Закирова Э.А., Кухаренко А.С. Исследование микрополосковой антенны для RFID-технологии на круговой меандр-линии // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №9. С. 37-42.

For citation:
Yelizarov A.A., Nesterenko A.N., Zakirova E.A., Kukharenko A.S. (2017). Prediction modeling for akusticheskm designing. *T-Comm*, vol. 11, no.9, pp. 37-42. (*in Russian*)

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:54 Page 38

Для работы в указанном диапазоне частот авторами предложены конструкции антенн для RFID-технологии на основе отрезков замедляющей структуры в виде круговых меандр-линий с различной периодичностью структуры, топологии которых представлены на рис. 1 (а, б). Антенны выполнены на подложках с относительной диэлектрической проницаемостью 5,6 и имеют внешний диаметр 110 мм, внутренний 83 мм, при ширине микрополоскового проводника 4,5 мм [9-12].

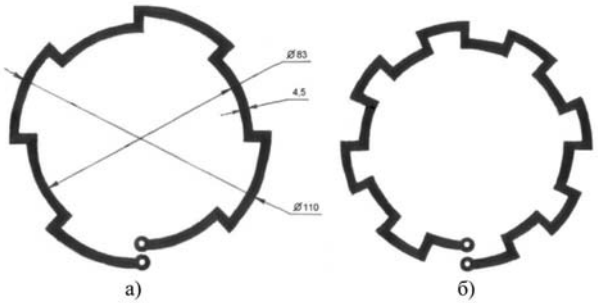


Рис. 1. Топология микрополосковой RFID антенны:
а) на основе четырехступенчатой круговой меандр-линии,
б) на основе восьмиступенчатой круговой меандр-линии.

Важным параметром структур на базе меандр-линий являются дисперсионные характеристики. Они были получены экспериментально и показали достаточно равномерное изменение коэффициента замедления на рабочих частотах антенны от 4 до 6. Такие результаты позволяют сделать вывод, что можно прямо пропорционально величине замедления уменьшать геометрические размеры меандр-линий при сохранении их прежней электрической длины [4-6]. В этом случае максимальная длина волны антенны определяется ее максимальной электрической длиной, а минимальная – точностью изготовления структуры вблизи точки питания антенны.

Модель антенны в программной среде MMANA-GAL v.1.2.0.20. показана на рис. 2. Как известно, при возбуждении периодической структуры возможно два режима работы: в первом - электромагнитная волна сосредотачивается вблизи структуры без излучения, а во втором – наблюдается излучение электромагнитных волн в окружающее пространство [12, 13]. Режим работы периодической структуры определяется соотношением между коэффициентом фазы питающей волны, распространяющейся вдоль структуры, и периодом структуры. При малом периоде по сравнению с длиной волны излучение отсутствует, а при их совпадении происходит интенсивное резонансное излучение. В последнем случае энергия питающей волны в структуре практически полностью преобразуется в энергию излученных электромагнитных волн, а возбуждение структуры за областью излучения резко уменьшается, что не нарушает режим работы антенны. Период структуры у предложенных вариантов антенн является постоянным, что позволяет объяснить отсутствие отсечки тока в периодической системе реализацией режима резонансного излучения [13, 14].

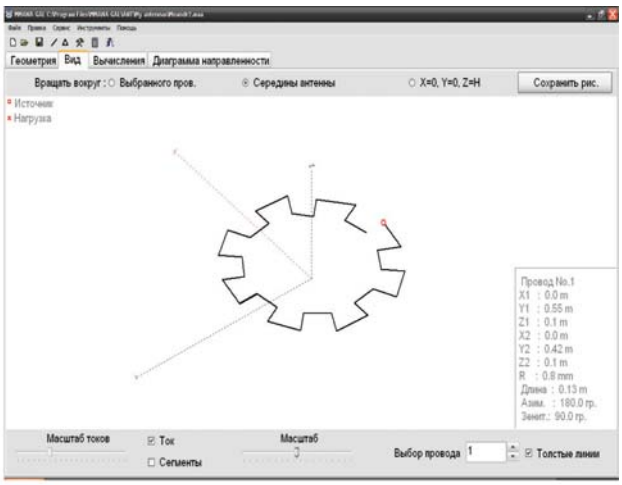


Рис. 2. Модель антенны на одиночной меандр-линии в программе MMANA-GAL v.1.2.0.20

Анализ диаграмм направленности (рис.3), рассчитанных в программе MMANA-GAL v.1.2.0.20 для варианта антенны на основе круговой меандр-линии, подтверждает наличие у данной структуры осевого излучения с круговой поляризацией, ортогонального плоскости подложки.

При этом на рабочей частоте антенны 866 МГц достигается наиболее равномерная диаграмма направленности. С увеличением частоты до 915 МГц появляется изрезанность, что объясняется ростом потерь на излучение. Проведенное моделирование аналогичных микрополосковых антенн на базе круговых меандр-линий с меньшим числом периодов также показало увеличение изрезанности диаграмм направленности, что связано с уменьшением коэффициентов замедления таких структур.

На рисунке 4 показана модель антенны типа «бабочка» на основе двойной круговой меандр-линии в программе AWR Design Environment v.9.0.4847. Габаритные размеры антенны 230 х 115 мм. Рабочая частота – 915 МГц.

Для согласования антенны с внешним подводящим 50-омным коаксиальным кабелем использовалось согласующее устройство на основе П-образного фильтра. Схема устройства показана на рис. 5.

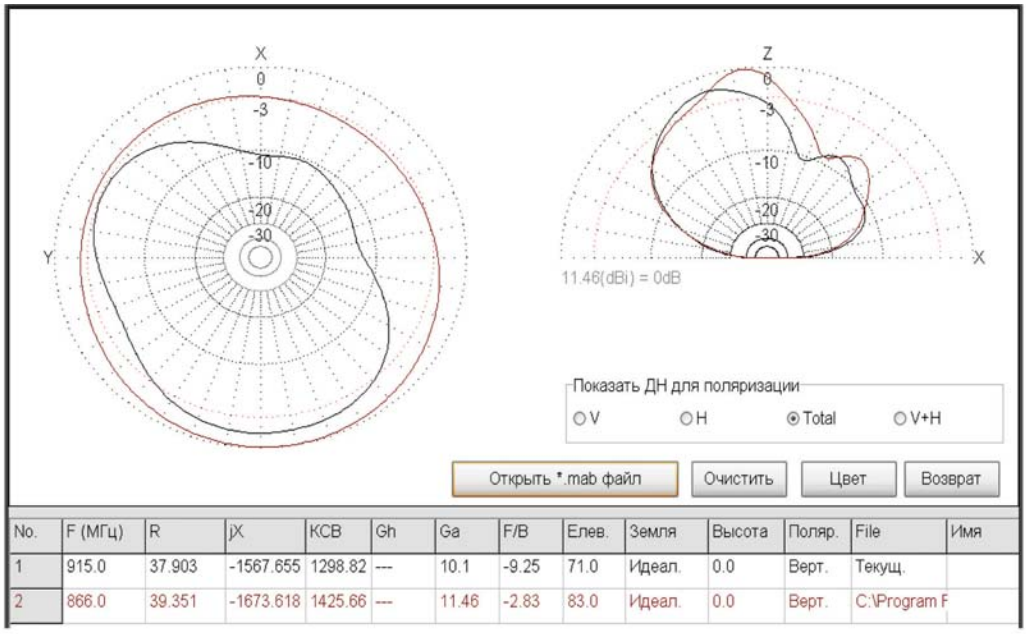
Полученная характеристика комплексного коэффициента отражения S_{11} для данного устройства согласования показала ярко выраженный резонанс на частоте 915 МГц при VSWR не превышающем 1,5.

Результаты компьютерного моделирования диаграмм направленности антенны представлены на рис. 6 и 7.

Полученные характеристики демонстрируют равномерные характеристики диаграмм направленности с круговой вращающейся поляризацией и незначительной изрезанностью.

Модель микрополосковой антенны на синфазной решетке из четырех излучателей на основе круговой меандр-линии показана на рис.8. Габаритные размеры антенны – 250 х 250 мм. Рабочая частота – 866 МГц.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:55 Page 39



No.	F (МГц)	R	jX	КСВ	Gh	Ga	F/B	Елев.	Земля	Высота	Поляр.	File	Имя
1	915.0	37.903	-1567.655	1298.82	---	10.1	-9.25	71.0	Идеал.	0.0	Верт.	Текущ.	
2	866.0	39.351	-1673.618	1425.66	---	11.46	-2.83	83.0	Идеал.	0.0	Верт.	C:\Program F	

Рис. 3. Диаграммы направленности для антенны на основе одиночной восьмиступенчатой меандр-линии на рабочих частотах: 866 МГц – черный график и 915 МГц – красный график

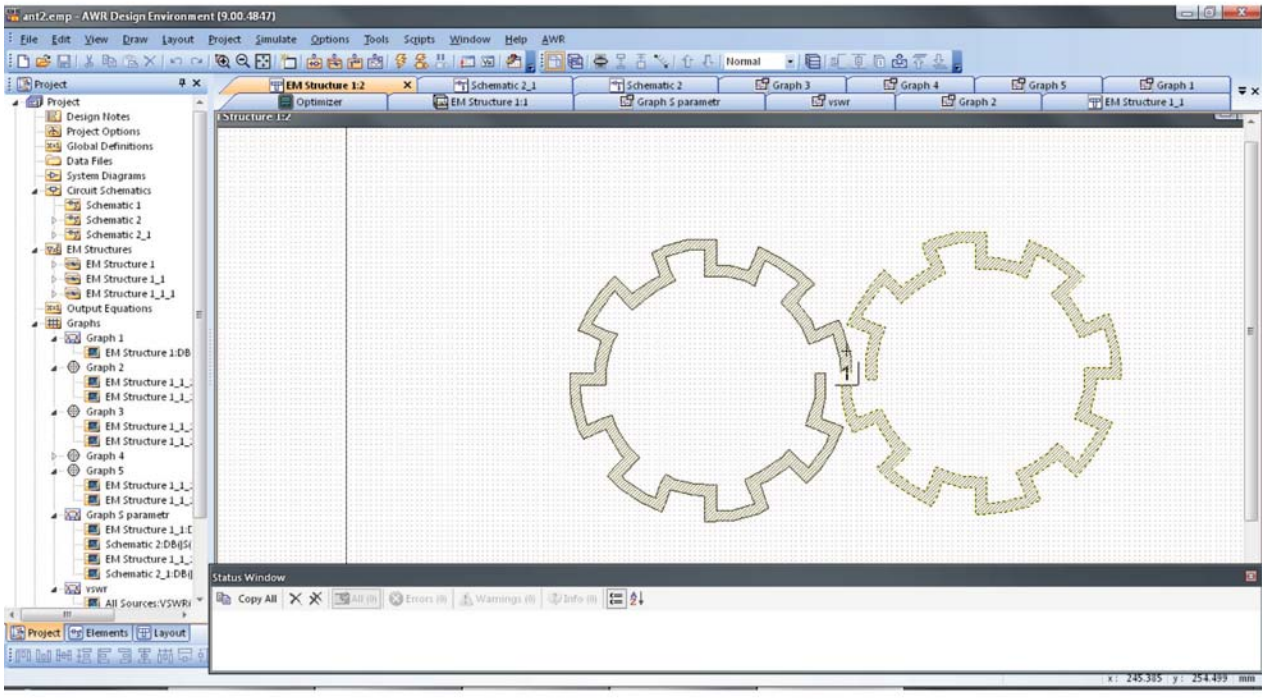


Рис. 4. Модель антенны «бабочка» на двойной круговой меандр-линии в программе AWR Design Environment v.9.0.4847

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:56 Page 40

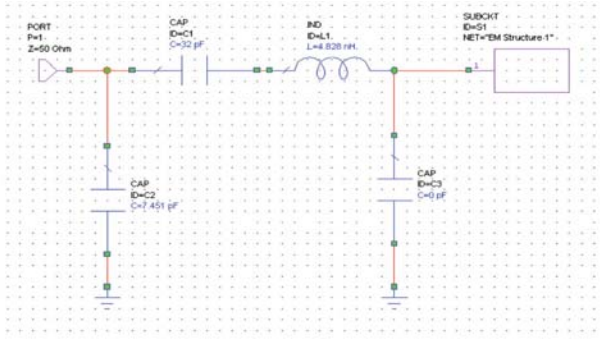


Рис. 5. Схема согласующего устройства в программе AWR Design Environment v.9.0.4847.

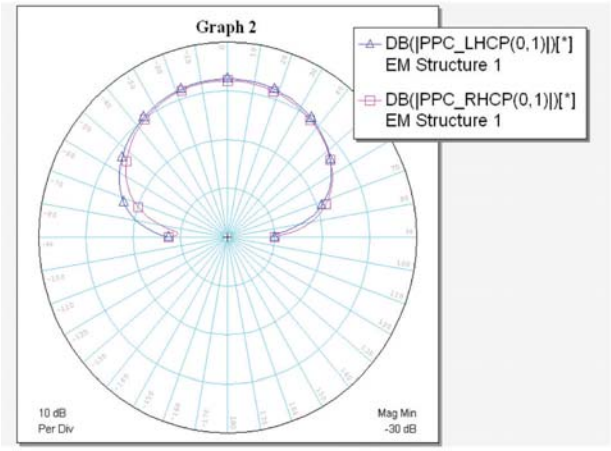


Рис. 6. Диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости для левосторонней (синий график) и правосторонней (красный график) поляризации.

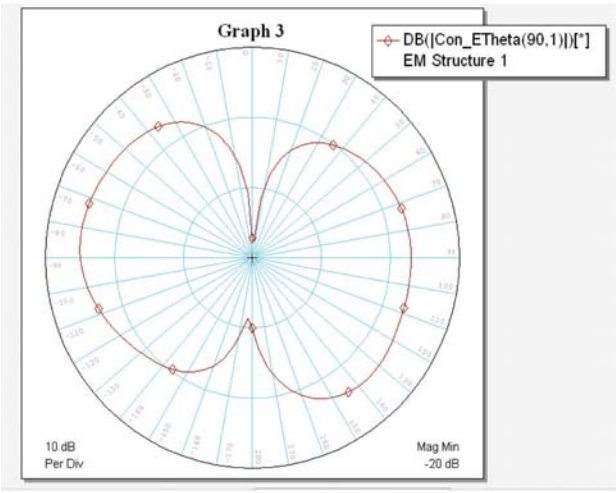


Рис. 7. Диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости.

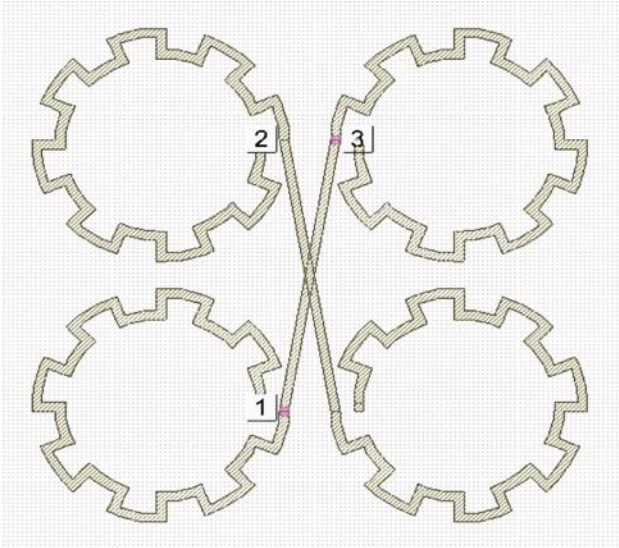


Рис. 8. Модель антенны на синфазной решетке из четырех излучателей на основе круговой меандр-линии в программе AWR Design Environment v.9.0.4847

Согласование синфазной решетки из четырех идентичных по геометрическим размерам излучателей с внешним подводящим коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом представляет некоторые трудности, требующие внесения изменений в ранее используемую схему по рис.5. В частности, точки 2 и 3 полотна антенны были соединены сосредоточенным резистором с сопротивлением 77,04 Ом. Схема согласования антенны в программе AWR Design Environment v.9.0.4847 показана на рис.9. Использование такого согласующего устройства позволило обеспечить значение VSWR = 1,97 на рабочей частоте 866 МГц.

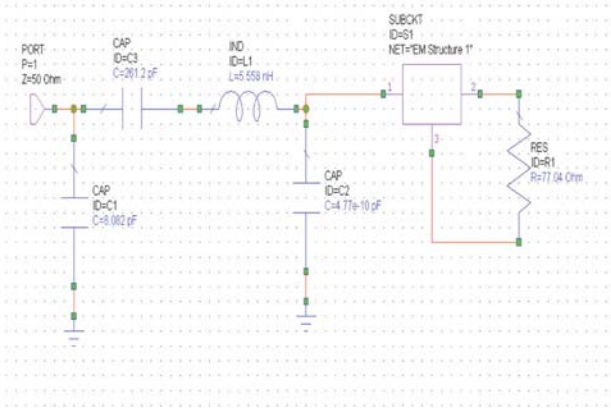


Рис. 9. Схема устройства согласования антенны в программе AWR Design Environment v.9.0.4847

На рисунках 10 и 11 представлены результаты компьютерного моделирования диаграмм направленности антенны на основе синфазной решетки из четырех круговых меандр-линий в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:57 Page 41

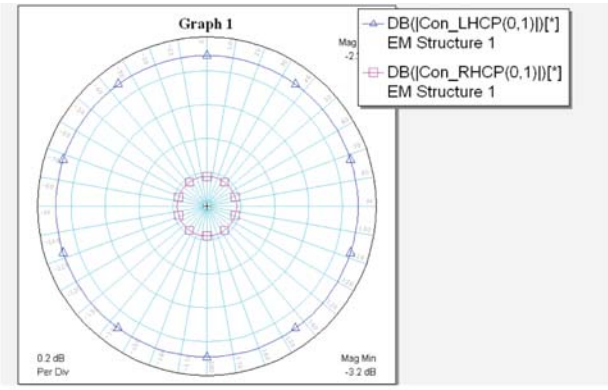


Рис. 10. Диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости для левосторонней (синий график) и правосторонней (красный график) поляризации

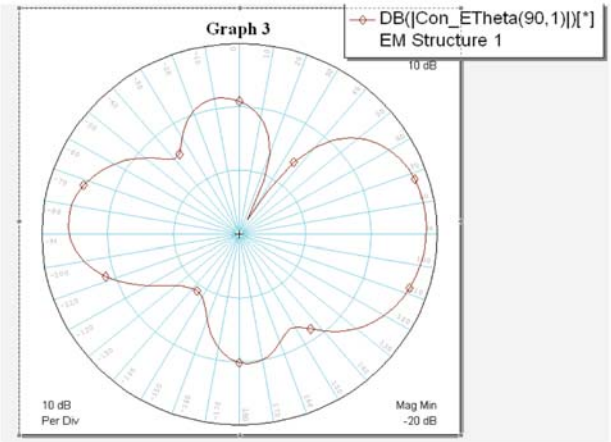


Рис. 11. Диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости

Полученные результаты демонстрируют наличие у антенны наиболее равномерной диаграммы направленности с левосторонней круговой поляризацией. Изрезанность диаграмм возникает вследствие ухудшения согласования в местах соединения излучателей.

Очевидным преимуществом применения меандр-линий при проектировании микрополосковых антенн является возможность разработки конструкций с уменьшенной электрической длиной. Проведенное компьютерное моделирование микрополосковых антенн с разным числом излучателей на основе круговых меандр-линий, позволяет сделать вывод о наличии у таких структур равномерной диаграммы направленности и круговой вращающейся поляризации.

Показано, что с увеличением числа микрополосковых излучателей можно добиться меньшей изрезанности диаграммы направленности антенны, но при этом возникают трудности с ее согласованием. Полученные результаты дают возможность реализации синтеза антенн в диапазоне от 866 до 915 МГц, путем изменения их геометрических параметров.

Литература

1. *Sharfeld T.* Low cost passive Radio-Frequency Identification System Design. MA, 2001.
2. *Финкенцеллер К.* Справочник по RFID. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008.
3. *Елизаров А.А., Пчельников Ю.Н.* Радиоволновые элементы технологических приборов и устройств с использованием электродинамических замедляющих систем. М.: Радио и связь, 2002.
4. *Елизаров А.А., Закирова Э.А.* Микрополосковые СВЧ устройства на печатных платах с многослойными диэлектрическими подложками. М.: ИД Медиа Паблишер, 2016.
5. *Елизаров А.А., Закирова Э.А.* Исследование излучения радиочастотных элементов на микрополосковых спиральных замедляющих системах // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2012. № 10. С. 51-53.
6. *Елизаров А.А., Закирова Э.А.* Патент РФ на полезную модель № 133 655. Микрополосковая спиральная антенна с двусторонней кроговой поляризацией // Изобретения. Полезные модели. Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. 2013, № 29.
7. *Lee Y.* Antenna Circuit Design for RFID Applications // Microchip Technology Inc., USA, 2003, AN710, pp.1-50.
8. *Елизаров А.А., Касторская А.С., Кухаренко А.С.* Патент РФ № 2 408 115 на изобретение. Антенна для радиочастотной идентификации (варианты) // Изобретения. Полезные модели. Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. 2010. № 36.
9. *Елизаров А.А., Закирова Э.А.* Патент РФ на изобретение № 2 484 559. Печатная плата с подвешенной подложкой // Изобретения. Полезные модели. Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. 2013, № 16.
10. *Елизаров А.А.* Патент РФ на изобретение № 2 514 094. Мультипольная антенна (варианты) // Изобретения. Полезные модели. Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. 2014. № 12.
11. *Елизаров А.А., Касторская А.С., Кухаренко А.С.* Исследование микрополосковой антенны для радиочастотной идентификации // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Выпуск LXV. Вып.65. М.: РНТОРЭС им. А.С.Попова, 2010. С. 3-5.
12. *Елизаров А.А., Закирова Э.А., Филимонова А.С.* Инновационные технические решения в разработке микрополосковых антенн и СВЧ устройств на многослойных печатных платах // Innovative information technologies: Materials of The International Scientific-Practical Conference, Prague, 2013, part 2, pp. 218-225.
13. *Елизаров А.А., Закирова Э.А.* Моделирование излучения кромок многослойных печатных плат СВЧ-диапазона // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. № 9. С. 74-76.
14. *Елизаров А.А., Закирова Э.А.* Исследование паразитного излучения кромок многослойных печатных плат СВЧ диапазона // Технологии электромагнитной совместимости. 2013. № 3(46). С.16-23.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:57 Page 42

PREDICTION MODELING FOR AKUSTICHESKM DESIGNING

Andrey A. Yelizarov, *National Research University "Higher School of Economics", Moscow, Russia,* ***a.yelizarov@hse.ru***
Anastasiya N. Nesterenko, *National Research University "Higher School of Economics", Moscow, Russia,* ***nnasty16@yandex.ru***
Elmira A. Zakirova, *All-Russia Research Institute of Automatics (VNIIA) named N. L.Duchov, Moscow, Russia,* ***jekyll1604@mail.ru***
Alexander S. Kukharenko, *"Sberbank-Service" Company, Moscow, Russia,* ***alexk.05@mail.ru***

Abstract
An actual problem of the modern state of communication and telecommunication technologies is the conversion of the physical data in to virtual ones. Radio frequency identification (RFID) technologies are often used for the purpose. Conversion of information in to physical form is provided by the method of contactless reading of data, which are recorded on labels, which are fixed on alive and lifeless objects [1, 2]. RFID systems help to get information, which is out of view. A virtual information is stored on a label, which is fixed on an object, and the conversion in to physical form is provided by contactless reading of data from the label. The label appears to be a microchip with an antenna, connected to it. The coupling of a label and a reader can be of two types: capacitive (in case of using electrical field) and inductive (in case of using magnetic field). Antennas, one of which linear dimensions (length or width) is equal to a half wave length, have best characteristics. Such an antenna acts as a resonator. There are several types of resonant antennas. The most popular for RFID systems are strip-line dipoles and microstrip (printed) antennas of different configurations [2]. Microstrip radiators are fabricated as planar antennas, printed on a dielectric substrate. Usually they contain three layers: conducting plane (patch) on the top, dielectric layer (substrate) in the middle and a conducting metal plane (ground plane) as a base. Materials widely-used for high frequency PSBs manufacturing such as teflon, polikor and others are used as dielectric. The use of spiral and meander structures in microstrip antennas for radio frequency identification allows creation of miniature radiators, which dimensions are much smaller then the length of receiving or transmitting waves [3- 6]. Microstrip spiral antennas can be an example. The base of such antennas is a rectangle resonator with logarithmic, arithmetic or elliptical spiral. The antenna structure provides an axial radiation with circle or elliptical polarization. But in the far field the polarization of the antenna appears to be linear [7-8]. The fact forces the decreasing of polarization properties and makes difficult their implementation for radio frequency identification in the band 866-915 MHz.

Keywords: *RFID technology; microstrip antenna; circular meander-line.*

References

1. Sharfeld T. (2001). *Low cost passive Radio-Frequency Identification System Design*. MA.
2. Finkentseller C. (2008). *RFID directory*, Dodeka XXI, Moscow. (*In Russian*)
3. Yelizarov A.A., Pchelnikov Y.N. (2002). *Radiowave elements for technological devices with the use of electrodinamic slow-wave structures*, Moscow: Radio and Communications. (*In Russian*)
4. Yelizarov A.A., Zakirova E.A. (2016). *Microstrip microwave devices on printed circuit boards with multilayer dielectric substrates*. Moscow, Media Publisher. (*In Russian*)
5. Yelizarov A.A., Zakirova E.A. (2012). Study of RF-elements radiation on microstrip helical slow-wave structures. *T-Comm*. No. 10. pp. 51-53. (*In Russian*)
6. Yelizarov A.A., Zakirova E.A. (2013). *Microstrip spiral antenna with a two-way circular polarization*. RU Patent of useful model № 133 655, Bull. № 29, 2013. (*In Russian*)
7. Lee Y. (2003). *Antenna Circuit Design for RFID Applications*. Microchip Technology inc., USA, AN710, pp.1-50.
8. Yelizarov A.A., Kastorskaya A.S., Kukharenko A.S. (2010). *RFID Antenna* (versions). RU Patent № 2 408 115, Bull. № 36, 2010. (*In Russian*)
9. Yelizarov A.A., Zakirova E.A. (2013). *Printed circuit board with a suspended substrate*. RU Patent № 2 484 559, Bull. № 16, 2013. (*In Russian*)
10. Yelizarov A.A. (2014). *Multipole antenna* (versions). RU Patent №2 514 094, Bull. № 12, 2014. (*In Russian*)
11. Yelizarov A.A., Kastorskaya A.S., Kukharenko A.S. (2010). *Investigations of a microstrip antenna for radio frequency identification*. Thesisses of LXV science session, dedicated to the radio Day, Moscow, pp. 3-5. (in Russian).
12. Yelizarov A.A., Zakirova E.A., Filimonova A.S. (2013). *Innovative technical solutions in the development of microstrip antennas and microwave devices on multilayer printed circuit boards*. Innovative information technologies: Materials of The International Scientific-Practical Conference, Prague, part 2, pp. 218-225.
13. Yelizarov A. A., Zakirova E.A. (2013). Simulation of the edges radiation of multilayer printed circuit boards for microwave band. *T-Comm*. No. 9. pp. 74-76. (*In Russian*)
14. Yelizarov A.A., Zakirova E.A. (2013). Investigation of spurious edges radiation in the multilayer printed circuit boards for microwave band. *Technologies of electromagnetic compatibility*. No. 3(46). pp. 16-23. (*In Russian*)

Information about authors:
Yelizarov Andrey Albertovich, Dr. S'c-Eng., Professor, National Research University "Higher School of Economics", Electronic Engineering Department, Moscow, Russia
Nesterenko Anastasiya Nikolaevna, Magistrant, National Research University "Higher School of Economics", Electronic Engineering Department Moscow, Russia
Zakirova Elmira Alexeevna, Ph. D., Design Engineer, All-Russia Research Institute of Automatics (VNIIA) named N. L.Duchov, Moscow, Russia
Kukharenko Alexander Sergeevich, Ph. D., Chief Engineer, "Sberbank-Service" Company, Moscow, Russia

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:57 Page 43

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ СВЯЗИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В РОССИИ

Щербакова Елена Николаевна,
ФГУП ЦНИИС, Москва, Россия,
shcherbakova@zniis.ru

Ключевые слова: *сеть интернет, информационно-телекоммуникационные технологии, ОТТ, регулирование, ССОП, устойчивое функционирование.*

Основополагающим документом для деятельности операторов связи является федеральный закон "О связи" [1] (далее – ФЗ), который вступил в силу с 1 января 2004 г. ФЗ нацелен на создание в России благоприятных условий для оказания услуг связи абонентам на всей территории страны, обеспечение добросовестной конкуренции между операторами связи, содействие внедрению современных телекоммуникационных технологий, создание условий для обеспечения услугами связи приоритетных пользователей и т.д.

Для достижения поставленных целей в ФЗ предусмотрены, в том числе следующие механизмы: присоединение, универсальное обслуживание, присвоение оператору связи статуса "существенный оператор", установление порядка пропуска трафика, перенос абонентского номера в сетях подвижной радиотелефонной связи.

Присоединение предусматривает, что в сети связи общего пользования (ССОП) операторы связи обязаны оказывать услуги присоединения другим операторам связи и владельцам сетей связи специального назначения.

Универсальное обслуживание предусматривает компенсацию из резерва универсального обслуживания затрат оператора связи, связанных с оказанием на экономически невыгодных территориях услуг связи, отнесенных к универсальным услугам.

Некоторые проблемы действующего регулирования построения сетей связи в России препятствуют внедрению в сети связи общего пользования современных информационно-телекоммуникационных технологий и услуг, а также обеспечению ее устойчивого функционирования.

Приводятся аргументы для разработки базового документа, определяющего принципы построения сети связи общего пользования на перспективу до 2030 г., который может стать основой для совершенствования регулирования в сфере связи.

Информация об авторе:
Щербакова Елена Николаевна, *заместитель директора научного центра, ФГУП "Центральный научно-исследовательский институт связи", Москва, Россия*

Для цитирования:
Щербакова Е.Н. Актуальные вопросы построения сети связи общего пользования в России // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №9. С. 43-47.

For citation:
Shcherbakova E.N. (2017). Acute issues of the communication networks construction in Russia. *T-Comm*, vol. 11, no.9, pp. 43-47. (*in Russian*)

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:57 Page 44

Введение

Присвоение оператору связи статуса оператора, занимающего существенное положение в ССОП, позволяет гарантировать недискриминационные условия для выхода на рынок услуг связи других операторов связи на территориях, где доминирует такой «существенный оператор». ФЗ определяет, что цены на услуги присоединения и услуги по пропуску трафика, оказываемые операторами, занимающими существенное положение в ССОП, подлежат государственному регулированию. «Существенный оператор» вместе с аффилированными лицами обладает в географически определенной зоне нумерации или на всей территории Российской Федерации не менее чем 25% монтированной емкости либо имеет возможность осуществлять пропуск не менее чем 25% трафика.

Введение обязанности федерального органа исполнительной власти в области связи устанавливать нормативные требования к сетям связи в части порядка пропуска трафика направлено на создание экономической основы для развития сетевой инфраструктуры, в том числе за счет введения обязанности операторов сетей местной телефонной связи пропускать внутризоновый трафик по сетям зоновой телефонной связи, а трафик между субъектами Российской Федерации соответственно пропускать по сетям междугородной и международной телефонной связи.

Обеспечение перехода абонента от одного оператора подвижной радиотелефонной связи к другому такому оператору с сохранением телефонного номера было введено в целях обеспечения конкурентной среды на рынке услуг подвижной связи в отношении уровня тарифов и качества оказываемых услуг.

Перечисленные механизмы играют положительную роль в обеспечении населения страны современными услугами связи. Согласно индексу готовности к сетевому обществу [3] Россия заняла второе место по ценовой доступности услуг мобильной связи и десятое место по ценовой доступности услуг широкополосного доступа. При этом в общем рейтинге среди 139 стран Россия с 2013 года поднялась на 13 позиций и занимает на 2016 год 43 место (на 2013 год 54-ое место). Однако существует ряд проблем нормативно-правового характера, отрицательно влияющих на развитие сетевой инфраструктуры и ее устойчивое функционирование. Остановимся на некоторых их них.

Проблемы, влияющие на развитие ССОП

Отставание нормативной правовой базы от развития информационно-телекоммуникационных технологий.

Увеличение производительности сетевого оборудования, переход в сетях связи на протоколы IP приводят к тому, что узлы связи становятся комбинированными, т.е. одновременно могут выполнять как функции узлов сетей подвижной связи, так и функции узлов сетей фиксированной связи. За счет этого происходит слияние сетевой инфраструктуры сетей фиксированной и подвижной связи и их превращение в сеть нового типа – мультисервисную сеть связи (далее – МСС).

Развитие облачных технологий способствует реализации в сетях электросвязи концепции виртуализации сетевых функций (Network Function Virtualization, NFV), позволяющей заменить традиционные средства связи (маршрутизаторы, коммутаторы, межсетевые экраны, оборудование сетей радиодоступа и даже IMS) на их программные аналоги. Компании, продвигающие NFV, обещают операторам связи ускорение развертывания новых услуг и сокращение финансовых затрат на их внедрение за счет реализации сетевых функций на стандартных серверах, которые могут устанавливаться в ЦОД. Таким образом, при применении NFV сеть электросвязи превращается в сеть виртуальных машин, которые могут выполнять функции любых средств связи, взаимодействующих между собой с использованием протоколов IP.

Несмотря на возможности новых информационно-телекоммуникационных технологий, существующая система регулирования в отрасли «Связь» остается ориентированной на наличие сетей связи разного типа, состоящих из физических узлов и связывающих их линий связи. Представляется, что в будущем этот факт неизбежно будет препятствовать внедрению и развитию новых услуг связи.

Не определены перспективы развития услуг Over The Top (OTT).

Развитие широкополосного доступа, высокая плотность смартфонов, находящихся в пользовании у абонентов, приводят к росту популярности услуг OTT (Over the Top). Услуги OTT зачастую являются заменителями традиционных услуг связи, так как позволяют передавать и получать голосовую и видеоинформацию, оплачивая только доступ к сети интернет. Распространенность услуг OTT негативно влияет на объем доходов операторов связи от оказания традиционных услуг связи. По оценке представителя Telecom Daily, в 2016 г. выручка операторов сетей подвижной связи от голосовых услуг снизилась на 5–6 процентов [4]. Сокращению доходов способствует, в том числе, установление голосовых соединений через сеть интернет.

В странах ЕС различают 3 группы услуг OTT.

Услуги, которые предусматривают завершение вызова на сеть телефонной связи, выделяют в отдельную группу OTT-0. Такие услуги рассматриваются как услуги электронных сетей, и высказывается мнение, что при их оказании операторами связи должны соблюдаться те же правила и требования к СОРМ, тарифам, расчетам между операторами связи, идентификации пользователя, защите персональных данных и пр., которые предъявляются в случае оказания традиционных услуг телефонной связи.

К услугам OTT-1 относятся услуги передачи голосовой информации, когда завершение вызова происходит на оконечное оборудование, подключенное к сети интернет. Также к этой группе относятся услуги обмена мгновенными сообщениями.

Примерами услуг OTT-2 являются электронная коммерция, потоковое аудио и видео по сети интернет. В ЕС изучается целесообразность отнесения услуг OTT-2 к услугам электронных сетей с целью обеспечения «вклада» операторов, оказывающих эти услуги, в развитие сетевой инфраструктуры.

В российском законодательстве в сфере связи услуги OTT не определены. При этом российские операторы связи оказывают услуги, аналогичные OTT-0, в рамках лицензий на оказание услуг местной телефонной связи и услуг по передаче данных для целей передачи голосовой информации путем присоединения сетей местной телефонной связи к

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:57 Page 45

сети интернет. При этом происходит подмена сети передачи данных сетью интернет и недобросовестные операторы связи получают возможность использовать различные схемы увода телефонного трафика в сеть интернет.

В 2016 году была предпринята попытка пресечь нелегальные схемы пропуска голосового трафика путем введения запрета подмены номера вызывающего абонента. Однако положительного решения Минкомсвязью России не было принято, в том числе из-за неэффективности этой меры и высказанного экспертами мнения о нарушении принципа сетевой нейтральности и их опасения о возможном последствии в виде запрета IP-телефонии.

На уровне исполнительной власти невозможно осуществлять контроль показателей надежности сетей связи.

Технические нормы на показатели надежности сетей связи (коэффициент готовности, Кг) установлены приказом Мининформсвязи России от 27 сентября 2007 г. № 113 [4] для сети междугородной и международной телефонной связи, сети зоновой телефонной связи, сети местной телефонной связи, телеграфной сети связи и сети Телекс, а также для сети передачи данных (см. таблицу). Однако до настоящего времени отсутствует утвержденная Минкомсвязи России методика, которая позволила бы определять надежность сети связи. Надо отметить, что и нормативные значения Кг, установленные в упомянутом приказе, вызывают ряд вопросов и необходимость их пересмотра. Например, исходя из установленных норм на показатели Кг для сети местной телефонной связи и сети междугородной телефонной связи, следует, что сети местного уровня должны быть на порядок надежнее, чем сети междугородного уровня. Однако для обеспечения управления страной, в том числе в условиях ЧС, наличие надежной междугородной связи центральных органов управления с органами управления на местах не менее важно, чем обеспечение связи на местном уровне.

Таблица 1

Значение коэффициента готовности для различных сетей связи

Тип сети электросвязи	Значение Кг	Время простоя в год
Сеть междугородной и международной телефонной связи	не менее 0,999	9 ч
Сеть зоновой телефонной связи	не менее 0,9995	4,4 ч
Сеть местной телефонной связи	не менее 0,9999	53 мин
Телеграфная сеть связи и сеть Телекс	не менее 0,9999	53 мин
Сеть передачи данных	не менее 0,99	3,7 дней

Кроме того, вызывает вопрос значение Кг, установленное для сети передачи данных. Это значение уже на два порядка хуже, значение Кг для сетей местной телефонной связи. Представляется, что такое значение мало подходит для современных сетей передачи данных, в которых протокол IP используются не только для передачи данных, но и для оказания услуг, требующих надежной сети связи, включая IP-телефонию и различные аудиовизуальные услуги.

Названные факты порождают необходимость пересмотра установленных норм с учетом накопленной практики возникновения отказов в сетях связи и времени восстановления связи.

Снижение уровня устойчивости сетей связи.

Успехи либерализации рынка услуг связи привели к тому, что в России значительно возросло количество операторов связи. В 2016 году у операторов связи насчитывалось:

– более 70 лицензий на оказание услуг междугородной и международной телефонной связи;

– более 430 лицензий на оказание услуг внутризоновой телефонной связи;

– более 3800 лицензий на оказание услуг местной телефонной связи.

Однако увеличение числа операторов связи, и соответственно общего количества сетей связи в стране, не имеет положительного влияния на повышение устойчивости ССОП в целом. Это объясняется следующими причинами.

1. В России не создана система обеспечения устойчивого функционирования ССОП: в нормативных правовых актах (далее – НПА) не установлены требования к показателям устойчивого функционирования сетей электросвязи при воздействии внешних дестабилизирующих факторов, соответственно, отсутствует контроль со стороны федерального органа исполнительной власти в сфере связи за показателями устойчивого функционирования сетей электросвязи.

2. Зачастую операторы связи не имеют собственных сетевых ресурсов, а используют для организации оказания услуг связи ресурсы сетей других операторов: арендуют тракты, каналы связи и волокна ВОЛС, используют различные модели построения виртуальных сетей связи, являясь, по сути, поставщиками услуг.

3. В законодательстве юридически не закреплено понятие «первичная сеть», хотя на практике первичные (транспортные) сети существуют, и требования к устойчивому функционированию целесообразно применять в первую очередь к направлениям связи, организуемым в транспортных сетях.

4. Зачастую транспортные сети не отвечают рекомендациям по обеспечению устойчивого функционирования [6].

Основными причинами снижения устойчивости сетей связи являются следующие.

1. Обычно волоконно-оптические кабели разных операторов связи проложены в одной и той же телекоммуникационной канализации, поэтому при повреждении канализации зачастую выходят из строя сразу несколько сетей связи.

2. При проектировании сетей связи допускается низкая связность узлов связи, так как не закладывается достаточное количество территориально разнесенных независимых маршрутов для резервирования линий связи.

3. В сетях связи отсутствует возможность резервирования линий связи по сетям других операторов.

Такая ситуация возникла в результате того, что в условиях рыночной экономики у операторов связи превалирует задача сокращения финансовых затрат на создание сетевой инфраструктуры над задачей создания устойчивой к воздействию дестабилизирующих факторов сети связи.

Государственный контроль обеспечения устойчивого функционирования ССОП осложняется тем, что с февраля 2010 года законодательно отменена ранее проводимая экс-

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:58 Page 46

пертиза сетей связи на предмет их соответствия установленным требованиям и исключена обязанность операторов связи регистрировать свои сети связи.

Важность установления требований к обеспечению устойчивого функционирования сетей связи можно проиллюстрировать на примере. В настоящее время распространено построение волоконно-оптических сетей с кольцевой топологией. В такой сети ее устойчивое функционирование обеспечивается резервированием основного направления. При механическом повреждении кабеля на соответствующем узле происходит переключение, и трафик передается по резервному направлению (см. рисунок). Однако при наличии второго повреждения кабеля сеть связи даже при наличии двух хорд для резервирования связей между узлами распадается на два независимых сегмента, связь между которыми отсутствует. При этом возникали случаи, когда в поврежденном кабеле находились волокна, по которым из-за повреждения не обеспечивалась связь ЦКП с HLR. В результате в обоих сегментах долгое время отсутствовала возможность предоставления абонентам услуг подвижной радиотелефонной связи.

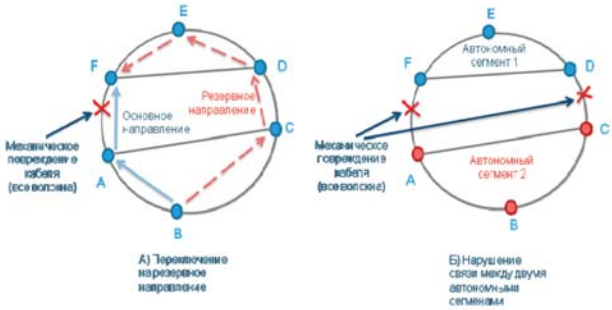


Рис. 1. Резервирование в сетях с кольцевой топологией

Учитывая, что обеспечение устойчивого функционирования сетей связи является для операторов связи существенным обременением и требует дополнительных финансовых затрат на резервирование, представляется необходимым определить операторов, на которых должны распространяться соответствующие требования (например, только на «существенных операторов» или на операторов, владеющих транспортными сетями, охватывающими всю территорию страны), установить в НПА сами требования и порядок контроля их выполнения.

Не установлены требования к обеспечению целостности и устойчивого функционирования российского сегмента сети интернет.

Во исполнение перечня поручений Президента России от 5 декабря 2016 г. №Пр-2346 Председатель Правительства Российской Федерации Д.А.Медведев дал указание до 11 мая 2017 г. разработать и утвердить программу «Цифровая экономика» [7]. Разработку программы возглавляет Минкомсвязи России. В ее разработке участвуют Минэкономразвития России, МИД России, Минфин России, Минпромторг России, Минобрнауки России и др. Ожидается, что принятие и реализация программы должны содействовать росту конкурентоспособности российской экономики.

Технологическую основу для трансформации российской экономики в направлении цифровой экономики во многом создает национальный сегмент сети интернет, который обеспечивает свободный доступ отдельных лиц, предприятий и организаций к информационным услугам, хранилищам информации, а также передачу оцифрованной информации между ее потребителями.

Для перехода к цифровой экономике необходимо укрепить доверие пользователей к российскому сегменту сети интернет в отношении обеспечения безопасности, целостности и устойчивости его функционирования.

До настоящего времени отсутствовало определение российского национального сегмента сети интернет и состава его критической инфраструктуры, что не позволяло установить требования к обеспечению его целостности и устойчивого функционирования. В ноябре 2016 года были для общественного обсуждения опубликованы дополнения в ФЗ, нацеленные на исправление этого недостатка.

В проекте дополнений в ФЗ к составу критической инфраструктуры российского сегмента сети интернет отнесены:

– национальная доменная зона ru, .рф и инфраструктура, обеспечивающая ее функционирование;

– точки обмена трафиком, критерии отнесения к которым устанавливаются федеральным органом исполнительной власти в области связи;

– инфраструктура автономных систем сети интернет.

Согласно проекту дополнений в ФЗ трансграничные линии передачи, пересекающие границу Российской Федерации с другими странами, могут организовывать только операторы связи.

Создание и использование критических ресурсов и трансграничных линий передачи будет регулироваться государством.

Проект дополнений в ФЗ предусматривает создание государственной информационной системы обеспечения целостности, устойчивости и безопасности функционирования российской части сети интернет (далее – ГИС).

Из проекта дополнений в ФЗ следует, что федеральный орган исполнительной власти в сфере связи совместно с федеральным органом исполнительной власти в области обеспечения безопасности установят требования к точкам обмена трафиком. Обмен трафиком операторы связи должны будут осуществлять только через точки обмена трафиком, соответствующие этим требованиям и содержащиеся в реестре ГИС.

Обеспечение реализации положений проекта дополнений в ФЗ требуют всесторонней системной проработки вопросов построения системы мониторинга и контроля целостности и устойчивого функционирования российского сегмента сети интернет, включая создание необходимой нормативной правовой базы.

Заключение

Решение рассмотренных проблем обуславливает необходимость разработки «зонтичного» документа, определяющего системно-сетевые вопросы построения МСС на базе перспективных информационно-телекоммуникационных технологий. Такой документ должен стать основой для совершенствования отраслевой нормативно-правовой базы.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:58 Page 47

Его отсутствие приводит к снижению уровня устойчивости ССОП и к постоянной, зачастую бессистемной корректировке действующих НПА, которая осуществляется обычно по инициативе операторов связи зачастую с целью устранения требований, вызывающих, по их мнению, излишние финансовые затраты.

Литература

1 Федеральный закон «О связи» от 07.07.2003 № 126-ФЗ – [Электронный ресурс] Режим доступа – http://www.consultant.ru.

2 document/cons_doc_LAW_43224 (дата обращения – 04.04.2017).

3 World Economic Forum «The Global Information Technology Report 2016», p.163 [Электронный ресурс] – Режим доступа – http://www3.weforum.org/docs/GITR2016/WEF_GITR_Full_Report.pdf/ (дата обращения – 04.04.2017).

4 Сотовые операторы потеряли голос [Электронный ресурс] – Режим доступа – https://www.vedomosti.ru/newspaper/articles/2017/01/10/672296-sotovie-operatori-golos/ (дата обращения – 04.04.2017).

5 Приказ Мининформсвязи России от 27 сентября 2007 г. № 113 «Об утверждении Требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования» [Электронный ресурс] – Режим доступа – http://minsvyaz.ru/common/upload/prikaz_27.09.2007_N113.pdf (дата обращения – 10.04.2017).

6 ГОСТ Р 53111-2008 «Устойчивость функционирования сети связи общего пользования [Электронный ресурс] – Режим доступа – http://ozi.urfu.ru/fileadmin/user_upload/site_63_6390/ZI/gost_r_53111-2008.pdf (дата обращения – 19.04.2017).

7 Об обеспечении выполнения поручений Президента России по реализации Послания Президента Федеральному Собранию от 1 декабря 2016 года [Электронный ресурс] – Режим доступа – http://government.ru/orders/selection/404/25588/ (дата обращения – 14.04.2017).

ACUTE ISSUES OF THE COMMUNICATION NETWORKS CONSTRUCTION IN RUSSIA

Elena Shcherbakova, *FSUE ZNIIS, Moscow, Russia,* ***shcherbakova@zniis.ru***

Abstract

Some problems of the current communication networks construction regulation in Russia prevent the implementation of new information and telecommunication technologies and services in the public telecommunication network, as well as ensuring it sustainable functioning. The article provides arguments for the development of a fundamental document that defines the principles of the public communication networks construction for the future up to 2030, which can become the basis for improving regulation in the communications sector.

Keywords: *Internet, information and telecommunication technologies, OTT, regulation, public telecommunication network, sustainable functioning.*

References

1. Federal Law "On Communications" dated 07.07.2003 No. 126-FZ [Electronic resource] – Access mode – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_43224/ (viewed – 04.04.2017).
2. World Economic Forum "The Global Information Technology Report 2016", p.163 [Electronic resource] – Access mode – http://www3.weforum.org/docs/GITR2016/WEF_GITR_Full_Report.pdf/ (viewed – 04.04.2017).
3. Cellular operators lost their voice – [Electronic resource] – Access mode – https://www.vedomosti.ru/newspaper/articles/2017/01/10/672296-sotovie-operatori-golos/ (viewed - 04.04.2017).
4. Order of the Ministry of Information Technologies and Communications of Russia No. 113 of September 27, 2007 "On Approving Requirements for Organizational and Technical Support for the Sustainable Functioning of the Public Communication Network" [Electronic resource] – Access mode – http://minsvyaz.ru/common/upload/prikaz_27 .09.2007_N113.pdf (viewed – 10.04.2017).
5. State standard R 53111-2008 "Stability of functioning of public communication network" [Electronic resource] – Access mode – http://ozi.urfu.ru/fileadmin/user_upload/site_63_6390/ZI/gost_r_53111-2008.pdf (circulation date – 19.04 .2017).
6. On ensuring the fulfillment of the instructions of the President of Russia on the implementation of the President's Address to the Federal Assembly of December 1, 2016 [Electronic resource] – Access mode – http://government.ru/orders/selection/404/25588/ (circulation date – April 14, 2017).

Information about author:

Elena Shcherbakova, FSUE ZNIIS, deputy director of R&D center, Moscow, Russia

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:58 Page 48

УПРАВЛЕНИЕ

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕДУР ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОДСИСТЕМ

Буренин Андрей Николаевич,
АО "НИИ "Рубин", г. Санкт-Петербург, Россия

Легков Константин Евгеньевич,
ВКА имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия,
constl@mail.ru

Ключевые слова: *информационная подсистема, автоматизированная система управления, уровневые сети, информационные воздействия, информационная услуга.*

При обеспечении обороноспособности, безопасности и правопорядка в любых странах мира для соответствующих министерств и ведомств разворачиваются сложные организационно-технические системы специального назначения. В целях гарантированного обеспечения их эффективного функционирования в различных условиях эксплуатации (в том числе чрезвычайных), создаются системы управления ими, которые, как правило, являются автоматизированными. Обычно в составе таких автоматизированных систем управления создаются информационные подсистемы, которые обеспечивают требуемые значения показателей качества процессов управления организационно-техническими системами путем предоставления должностным лицам органов управления и прикладным процессам в составе специального программного обеспечения комплексов средств автоматизации определенной номенклатуры требуемых информационных услуг. Как любая многофункциональная сложная система специального назначения, информационная подсистема должна функционировать с заданными значениями показателей эффективности и быть устойчивой, т.е. обеспечивать заданную эффективность функционирования в условиях, как реальной надежности ее средств, так и в случае применения всего комплекса информационных и разрушающих воздействий на нее. Для гарантированного выполнения поставленных перед информационной подсистемой целей она должна быть управляема, особенно при чрезвычайных условиях.
Рассматриваются вопросы обеспечения эффективного и устойчивого функционирования информационных подсистем, входящих в состав автоматизированных систем управления сложными организационно-техническими объектами (системами), когда в процессе их эксплуатации возникает необходимость корректировки структуры. Для обеспечения функционирования информационных подсистем с заданной эффективностью и устойчивостью в условиях реальной надежности их средств и широкого спектра воздействий они должны быть управляемы. Для управления такими подсистемами специально создаются системы управления на базе развертываемых комплексов программно-аппаратных средств. Выделенные и распределенные по компонентам подсистем системы управления ими, выполняют ряд задач управления, соответствующих модели управления NMS. Среди всех задач управления выделяется задача управления структурами подсистем. Предложены подходы и изложены процедуры управления структурой информационных подсистем, позволяющие повысить эффективность их функционирования.

Информация об авторах:
Буренин Андрей Николаевич, *д.т.н., доцент, главный научный сотрудник, АО "НИИ "Рубин", г. Санкт-Петербург, Россия*
Легков Константин Евгеньевич, *к.т.н., начальник кафедры АСУ, ВКА имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия*

Для цитирования:
Буренин А.Н., Легков К.Е. Метод повышения эффективности функционирования на основе процедур оперативного управления структурой информационных подсистем // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №9. С. 48-57.

For citation:
Burenin A.N., Legkov K.E. (2017). Method of improving the efficiency of functioning based on the procedures of operational management of information subsystems structure. *T-Comm*, vol. 11, no.9, pp. 48-57. (*in Russian*)

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:59 Page 49

Введение

Для управления информационной подсистемой (ИПС) специально создаются комплексы программно-аппаратных средств, а также выделяются средства из состава комплексов автоматизированной системы управления (АСУ) сложными организационно-техническими системами специального назначения (ССН). Как первые, так и вторые, совместно образуют выделенную распределенную по компонентам подсистемы систему управления ИПС АСУ ССН, на которую возлагается решение целого ряда задач по управлению подсистемой. В соответствии с используемой для достаточно широкого круга сложных организационно-технических объектов моделью управления NMS [1, 2], программный комплекс системы управления ИПС АСУ ССН, должен реализовать пять основных задач управления: управление функционированием, управление структурой, управление устранением неисправностей и ошибок, управление ресурсами и управление безопасностью (рис. 1).

Рис. 1. Основные группы задач управления ИПС АСУ ССН

Таким образом, основные задачи, которые необходимо решать при управлении ИПС АСУ ССН, можно свести к пяти группам задач управления (рис. 1). При этом обычно эти задачи ранжируют по важности (критичности), которая определяется степенью влияния на показатели эффективности и устойчивости функционирования как ИПС, так и ССН в целом.

Естественно, что задача управления функционированием ИПС является наиболее важной и сложной в реализации, поскольку решается в реальном масштабе времени и связана с необходимостью учета многих факторов, характеристик и параметров сложных процессов, протекающих в подсистеме, которая рассматривается как мультисетевая система обслуживания [2], и для которой характерны основные черты систем массового обслуживания [3, 4].

Вместе с тем, когда возможности процедур управления функционированием исчерпаны и не могут обеспечить требуемый уровень эффективности, необходимо скорректировать структуру самой ИПС АСУ ССН таким образом, чтобы обеспечить возможность процедурам управления функционированием гарантировать выполнение целевых показателей подсистемы при измененной структуре.

Управление ИПС АСУ ССН, как сложной системой, осуществляется в различных условиях эксплуатации (в т.ч. в чрезвычайных условиях) и предполагает разработку процессов организации комплекса управляющих воздействий на нее и ее компоненты (в т.ч. резервы), в результате которых сама подсистема (или требуемый ее компонент) изменяет свою структуру [1, 2].

Формулировка задачи управления структурой ИПС АСУ ССН

Задача управления структурой ИПС АСУ ССН является сложной (в силу сложности самой ИПС) комплексной (в силу многоуровневости и многофункциональности ИПС) задачей и предполагает разработку и последующее использование совокупности подходов и способов, применяемых последовательно или совместно в разных условиях обстановки (рис.2).

Как и при решении других задач управления ИПС АСУ ССН, при управлении ее структурой необходимо, чтобы были достигнуты цели:

$$\Gamma_{IP} = \begin{cases} \iota_1 = a_1, ..., \iota_p = a_p \\ \partial(\iota_1) = b_1, ..., \partial(\iota_p) = b_p \\ F_{IP}(\iota_1, ..., \iota_p) \le (\ge) A_{IP} \end{cases}, \quad (1)$$

где $\iota = \{\iota_1, ..., \iota_p\}$ – множество параметров ИПС АСУ ССН, влияющих на ее структуру; $\partial = \{\partial(\iota_1), ..., \partial(\iota_p)\}$ – множество функционально зависимых от параметров характеристик ИПС АСУ ССН, определяющих ее функционирование; $F_{IP}(\iota_1, ..., \iota_p)$ – показатель эффективности ИПС АСУ ССН.

Рис. 2. Комплекс задач управления функционированием ИПС АСУ ССН

Выполнение целей Γ_{IP} обеспечит условия для эффективного и устойчивого функционирования ИПС в целом и отдельных ее компонентов в различных условиях, в т.ч. в условиях воздействия на нее и систему управления ИПС комплекса естественных и преднамеренных возмущений и помех [4].

В плоскости управления структурой показатель эффективности ИПС АСУ ССН целесообразно задать некоторым функционалом $F(t, \mathbf{L}_{IP}, \mathbf{K}_{IPSr}, S_{IP}, \mathbf{U}_{funcIP}, \mathbf{U}_{StrIP})$, который зависит от фиксированных (невозмущенных) параметров и характеристик ИПС АСУ ССН $\mathbf{L}_{IP}$, от параметров внешних воздействий $\mathbf{K}_{IPSr}$, от структуры подсистемы S_{IP}, от управ-

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 17:59 Page 50

ления функционированием подсистемы $\mathbf{U}_{funcIP}$, а также от управления структурой $\mathbf{U}_{StrIP}$.

Рассматривая $F(t, \mathbf{L}_{IP}, \mathbf{K}_{IPSr}, S_{IP}, \mathbf{U}_{funcIP}, \mathbf{U}_{StrIP})$ как функцию от управления структурой, можно утверждать, что выбор конкретного вектора $\mathbf{U}_{StrIP}(t) = \mathbf{U}^{fics}_{StrIP}(t)$ обеспечит вполне конкретное значение показателя эффективности ИПС АСУ ССН, т.е. $F[t, \mathbf{L}_{IP}, \mathbf{K}_{IPSr}, S_{IP}, \mathbf{U}_{funcIP}, \mathbf{U}^{fics}_{StrIP}(t)] = F^{*fics}_{IP}[\mathbf{U}^{fics}_{StrIP}(t)]$. Поэтому решение задачи управления структурой ИПС АСУ ССН сводится к поиску такого $\mathbf{U}_{StrIP}(t) = \mathbf{U}^{fics}_{StrIP}(t)$, переводящего существующую структуру ИПС $S_{IP}(t-\Delta t_{USr})$ в планируемую $S^{Pl}_{IP}(t)$, для которой при прочих равных условиях обеспечивается либо экстремальное значение показателя $F_{extr} = F[t, \mathbf{L}_{IP}, \mathbf{K}_{IPSr}, S^{PlOpt}_{IP}(t), \mathbf{U}_{funcIP}, \mathbf{U}^{opt}_{StrIP}(t)]$, либо значение показателя $F[t, \mathbf{L}_{IP}, \mathbf{K}_{IPSr}, S^{Plef}_{IP}(t), \mathbf{U}_{funcIP}, \mathbf{U}^{fics}_{StrIP}(t)]$ не более (или менее) допустимого значения.

Решение экстремальной задачи – наилучшее управление $\mathbf{U}^{opt}_{StrIP}(t)$, являющееся оптимальным управлением структурой ИПС АСУ ССН, переводящим текущую структуру ИПС $S_{IP}(t-\Delta t_{USr})$ в оптимальную $S^{PlOpt}_{IP}(t)$ для данной ситуации, в которой, при прочих равных условиях, обеспечивается экстремальное значение показателя эффективности. Решение задачи, заданной в виде квантили – некоторое эффективное управление, переводящее текущую структуру ИПС $S_{IP}(t-\Delta t_{USr})$ в требуемую $S^{Plef}_{IP}(t)$, в которой, при прочих равных условиях, обеспечивается значение показателя эффективности ИПС не хуже требуемого уровня с заданной вероятностью. В решении задачи используется модель объекта управления (ИПС АСУ ССН), представленная в виде $\langle \mathbf{L}_{IP}, \mathbf{K}_{IPSr}, S_{IP}(t) \rangle$ и учитывается ресурс, выделяемый на управление структурой $R_{U_{StrIP}}$.

Если ССН функционирует в условиях допустимого уровня внешних воздействий, когда изменения в структуре ИПС АСУ ССН несущественны и есть возможность маневрировать существующими резервами ИПС, то задача управления структурой сводится к задаче 1(рис. 2) – управление процессами подключения пользователей АСУ ССН к средствам предоставления информационных услуг.

Если ССН функционирует в чрезвычайных условиях (существенные изменения в структуре ИПС АСУ ССН), то необходимо применять другие процедуры, направленные на управление процессами ввода резервных средств ИПС для восстановления поврежденных элементов или формирования новой структуры ИПС, т.е. управление структурой сводится к задаче 2 (рис. 2).

И в первом и во втором случае, структуру ИПС АСУ ССН целесообразно задать множеством параметров $S_{IP}(t-\Delta t_{USr}) = \{\mathbf{s}_i(t-\Delta t_{USr})\}\ \forall\, i = 1,...,l$. Тогда показатель эффективности ИПС представляется следующим образом:

$$F\left(t, \mathbf{L}_{IP}, \mathbf{K}_{IPSr}, \mathbf{s}_1(t-\Delta t_{USr}),...,\mathbf{s}_l(t-\Delta t_{USr}), \mathbf{U}_{funcIP}, \mathbf{U}_{StrIP}\right) = \quad (2)$$
$$= f_{Str}[F_1\left(\mathbf{s}_1(t-\Delta t_{USr})\right),..., F_l\left(\mathbf{s}_l(t-\Delta t_{USr})\right)]$$

С учетом (2) формулировка задачи организации управления множеством параметров, характеризующих структуру ИПС АСУ ССН, сильно усложняется. Задача в силу ее чрезвычайной большой размерности (множество параметров задающих структуру ИПС) и существующей неопределенности (степень влияния вектора $\mathbf{K}_{IPSr}$ на множество параметров $S_{IP} = \{\mathbf{s}_l\}$ непонятна, отсутствуют приемы синтеза сложных структур, в которых протекают процессы соединения, маршрутизации и обслуживания) относится к трудноразрешимым задачам. Поэтому непосредственное решение задачи методами многокритериальной оптимизации (по Парето или по интегральному критерию [5-13]) невозможно. По тем же причинам, задача, связанная с выбором управления, обеспечивающего квантиль значения показателя эффективности, которую формулируют тогда, когда оптимизационная постановка неразрешима, и предполагающая непосредственный синтез управления структурой ИПС АСУ ССН, гарантирующего значение показателя ее эффективности не хуже заданного с вероятностью не ниже допустимого значения, практически неразрешима.

Таким образом, решение задачи управления структурой ИПС АСУ ССН предполагает разработку специальных подходов, позволяющих снизить или исключить влияние приведенных факторов на принятие решений.

Первый подход, применимый ко всем вариантам задачи, состоит в том, что из всего множества выявленных управляемых структурных параметров $S_{IP}(t-\Delta t_{USr}) = \{\mathbf{s}_i(t-\Delta t_{USr})\}\ \forall\, i = 1,...,l$, необходимо оставить не более двух самых значимых (базовых), в значительной степени характеризующих структурную способность ИПС предоставлять требуемые информационные услуги (ИУ) и существенно влияющих на показатели эффективности подсистемы.

Второй подход состоит в том, что решается задача отдельно для выбора процедур управления процессами подключения пользователей АСУ ССН (рис. 2, процедуры 1) и для выбора процедур управление процессами ввода резервных средств ИПС при восстановлении поврежденных компонент или при формировании новой структуры ИПС для сложившихся условий эксплуатации (рис. 2, процедуры 2).

Третий подход, применимый к задаче в рамках подзадачи 2 (рис. 2, процедуры 2) предполагает использование эмпирических процедур синтеза с широким применением как имитационных моделей функционирования ИПС, так и стандартных услуг общей управляющей информации модели NMS.

Формализация управления структурными параметрами подсистемы для процессов подключения пользователей ИПС АСУ ССН

В обобщенном виде управление структурными параметрами подсистемы для процессов подключения пользователей ИПС АСУ ССН основано на определении наилучших вариантов получения ИУ множеством потребителей услуг, обеспечивающих требуемую эффективность подсистемы. При этом целесообразно декомпозировать всю задачу управления выбором вариантов подключения пользователей АСУ ССН к соответствующим поставщикам услуг на N_{IS} подзадач по числу предоставляемых подсистемой информационных услуг. Фактически речь идет об управлении структурой каждого из сервисных компонентов ИПС АСУ ССН.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:00 Page 51

Пусть для z-го цикла управления структурой в j-й сервисном компоненте ИПС, предоставляющем ИУ j-го вида имеется m серверов $Serv_{1j}(z),...,Serv_{mj}(z)$, а в АСУ ССН имеется n пользователей (ДЛ ОУ ССН, СПО КСА АСУ) $us_{1j}(z),...,us_{nj}(z)$ потребителей услуг j-го вида. Требуется для каждого z-го цикла управления организовать подключение определенных единиц множества $us_{1j}(z),...,us_{nj}(z)$ к определенным единицам множества $Serv_{1j}(z),...,Serv_{mj}(z)$ с учетом объемов предоставляемых услуг.

Будем считать, что для z-го цикла управления известен ресурс серверов услуг, который можно задать множеством $Re_{1j}(z),...,Re_{mj}(z)$ и известны потребности пользователей в данных услугах, которые задаются множеством $re_{1j}(z),...,re_{nj}(z)$. Естественно, что пользователи могут быть удовлетворены, если будет выполняться условие:

$$\sum_{i=1}^{n} re_{ij}(z) \le \sum_{r=1}^{m} Re_{rj}(z), \ \forall\, i=1,...,n; \ r=1,...,m. \qquad (3)$$

Пользователи $us_{1j}(z),...,us_{nj}(z)$ имеют доступ к серверам услуг ИПС АСУ ССН $Serv_{1j}(z),...,Serv_{mj}(z)$, который обеспечивается средствами сети доступа к ИУ.

При этом известны характеристики такого доступа, выражающиеся в скорости передачи сервисной информации $v_{11j}(z),...,v_{irj}(z),...,v_{nmj}(z)$ или во времени получения услуги $t_{11j}(z),...,t_{irj}(z),...,t_{nmj}(z)$.

Решением задачи является план подключения к услугам, задаваемый матрицей порядка $n \times m$ – матрицей плана управления структурой $\mathbf{P}_j(z) = \|p_{irj}(z)\|$, каждый элемент которой $p_{irj}(z)=1$, если $us_{ij}(z)$ подключен к $Serv_{rj}(z)$, или $p_{irj}(z)=0$ в противном случае, при ограничениях на пропускные способности информационных связей $v_{irj}(z)$, производительности серверов $V_{ij}(z)$ предоставляемых ИУ, а также накладываемых на временные характеристики предоставляемых ИУ (своевременность предоставления):

$$\left.\begin{array}{l} \sum_{i=1}^{n} v_{i1j}(z) \le V_{1j}(z), \\ \sum_{i=1}^{n} v_{i2j}(z) \le V_{2j}(z), \\ \ldots\ldots\ldots \\ \sum_{i=1}^{n} v_{imj}(z) \le V_{mj}(z) \end{array}\right\}. \qquad (4)$$

$$\left.\begin{array}{l} \sum_{i=1}^{n} t_{i1j}(z) \ge T_{1j}(z), \\ \sum_{i=1}^{n} t_{i2j}(z) \le T_{2j}(z), \\ \ldots\ldots\ldots \\ \sum_{i=1}^{n} t_{imj}(z) \le T_{mj}(z) \end{array}\right\}. \qquad (5)$$

С учетом особенностей функционирования ИПС АСУ ССН в различных условиях эксплуатации для ее интегральной оценки в z-м цикле управления структурой может быть взяты функции следующего вида:

$$T(z) = \sum_{j=1}^{N_{IS}} \xi_j \sum_{i=1}^{n} \sum_{r=1}^{m} t_{irj}(z). \qquad (6)$$

Таким образом, внутри каждого z-го цикла управления структурой ИПС АСУ ССН необходимо так сформировать план управления, чтобы при выполнении условий (4) и (5) линейные функции элементов (6) достигали минимума. Задача относится к классу задач линейного программирования и может быть достаточно просто решена известными способами, если возникают условия для включения процедур управления структурой ИПС в рамках задачи управления процессами подключения пользователей АСУ ССН к средствам предоставления информационных услуг ИПС.

Управление процессами ввода резервных средств для восстановления поврежденных компонентов или формирования новой структуры ИПС АСУ ССН

Данные процедуры управления используются системой управления ИПС, когда отсутствует возможность предоставлять требуемые ИУ в рамках действующей структуры при выходе из строя (полном или частичном разрушении) отдельных элементов ИПС или «выпадении» из структуры целых фрагментов (группы элементов) подсистемы. При этом можно предложить следующее: управление структурой ИПС осуществляется с привлечением ДЛ ОУ, использованием эмпирических процедур синтеза структур с широким применением имитационных моделей функционирования ИПС, а также стандартных услуг общей управляющей информации модели NMS.

В рамках данной подзадачи целесообразно рассматривать модель ИПС АСУ ССН, заданную совокупностью сервисных сетей $Netw_{IP} = \{Netw_j\}$, каждая из которых может быть описана неориентированным регулярным графом без петель $G_j(N_j, L_j) \ \forall\, j=1,...,N_{IS}$ с множеством вершин (узлов) N_j и множеством ветвей (линий информационных связей) $L_j = \{l_{ckj}\}$, соединяющих вершины [1, 2].

Каждой ветви l_{ckj}, соединяющей k-ю и c-ю вершины j-й сервисной сети ИПС АСУ ССН, ставится в соответствие значение ее пропускной способности, равной скорости передачи информации v_{ckj} при информационном обмене в процессе получения услуг, которая, в общем виде, зависит от управления структурой всей ИПС $\mathbf{U}_{StrIP}(t)$ и структурой сервисной сети $\mathbf{U}^{j}_{StrIP}(t)$.

Предполагается, что на каждую сервисную сеть $Netw_j$ ИПС АСУ ССН поступает многомерный пуассоновский поток требований на получение услуг с параметром $\Lambda_j = \{\lambda_{ckj}\}$, а время, на которое требование потока занимает виртуальный канал (с учетом времени получения самой услуги), распределено по произвольному закону $f_j(t)$ с параметром $\mu_j = \left[\int_0^{\infty} t f_j(t)\,dt\right]^{-1}$, одинаковым для всех потоков в $Netw_j$. Считаем, что задан список возможных путей в $Netw_j$ к соот-

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:00 Page 52

ветствующим серверам ИПС, предоставляющим ИУ. В этом случае вероятности соответствующих состояний обслуживания потока требований на получение соответствующей услуги можно задать следующим образом [3]:

$$P_{ckj}(n) = \lambda_{ckj}^{n}\left[\int_0^{\infty} t f_j(t)\,dt\right]^{-n}(n!)^{-1}P_{ckj}(0)\cdot \qquad (7)$$

где

$$P_{ckj}(0) = \left\{1+\lambda_{ckj}\left[\int_0^{\infty} t f_j(t)\,dt\right]^{-1}+\lambda_{ckj}^{2}\left[\int_0^{\infty} t f_j(t)\,dt\right]^{-2}(2!)^{-1}+\ldots\right.$$

$$\left.+\lambda_{ckj\,ckj}^{n}\left[\int_0^{\infty} t f_j(t)\,dt\right]^{-n}(n!)^{-1}\right\}^{-1}$$

Необходимость управления структурой ИПС АСУ ССН вытекает из того, что каждая ее сервисная сеть $Netw_j$ и подсистема в целом является динамической средой, внутри которых постоянно происходят изменения. Коммутаторы, мультиплексоры, модемы, сервера услуг, АРМ ДЛ ОУ и другие средства функционируют с разной производительностью, и их взаимодействие друг с другом меняется. Отдельные элементы (и даже фрагменты) сервисных сетей выходят из строя, ремонтируются и восстанавливаются. Число пользователей АСУ ССН может меняться, а оборудование уровневых сетей обновляться. Устанавливаются новые средства и более производительные серверные комплексы и коммутационное оборудование. Отдельные средства могут работать неправильно, нарушая работу всей ИПС АСУ ССН. Конкретный сервер услуг, коммутатор или маршрутизатор (криптомаршрутизатор) может быть удален как узел обслуживания из сервисной сети из-за неисправности аппаратного или программного обеспечения вследствие атаки «отказ в обслуживании». Если неисправность компонента подсистемы временная, то его можно удалить из списка только логически, пометив как недоступный элемент сервисной сети, что соответствует ее реконфигурации. При этом удобно использовать стандартные услуги общей управляющей информации модели NMS и осуществлять следующие функции путем соответствующего изменения баз управляющей информации (MIB) элементов конкретной сервисной сети [1]:

– идентификация любого объекта управления сервисной сети и назначение имени объекту;

– определение любого нового объекта управления;

– установка начальных значений для атрибутов объектов;

– управление взаимодействием объектов управления;

– изменение оперативных характеристик объекта управления и информирование о любых изменениях в состояниях объектов;

– удаление объекта управления;

– ввод в действие объекта управления с организацией его связей с другими объектами.

Это позволяет учесть при формировании процедур управления структурой для второй задачи управления (рис. 3) как модели ИПС АСУ ССН и ее сервисных сетей, заложенные в прикладных процессах управления СПО КСА СУ ИПС, так и модели инфокоммуникационной поддержки этих процессов, стандартизованные в документах МСЭ-Т и ИСО [1].

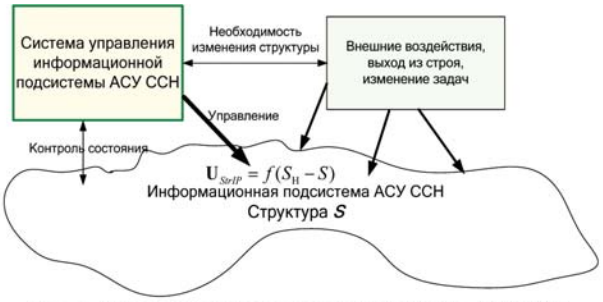


Рис. 3. Процедуры управления структурой ИПС АСУ ССН

В моделях стандартных услуг общей управляющей информации (модель NMS) при управлении структурой каждой сервисной сети ИПС АСУ ССН определены основные характеристики состояний объектов управления (элементов структуры ИПС) и допустимые переходы между этими состояниями.

Целесообразно выделить следующие рабочие состояния (рис. 4):

– разрешенное состояние: ресурс объекта управления не используется, но он работоспособен и доступен;

– запрещенное состояние: ресурс недоступен или зависим от другого источника, который недоступен;

– активное состояние: ресурс доступен для использования и имеет возможность принять на обслуживание другой источник;

– занятое состояние: ресурс доступен, но не имеет свободной емкости (пропускной способности) для дополнительных услуг.

Допустимые рабочие состояния (рис. 5), не обязательны для всех объектов управления. Некоторые объекты не ограничены по числу субъектов, которые могут одновременно использовать этот объект. В этом случае объект управления не может быть в занятом состоянии. Кроме того объект управления не может находиться в запрещенном состоянии, если это не влияет на другие объекты управления, т.е. это состояние несущественно.

Переход в разрешенное состояние обеспечивают средства, которые делают объект управления действующим. Действия типа замены сервера услуг, коммутатора, маршрутизатора или вышедшего из строя одного порта оборудования, устранение дефекта программного обеспечения и т.д. могут перевести объект в действующее состояние. Следует отметить, что переход «разрешать» может иметь место тогда, когда рабочее состояние объекта было запрещенным. Однако и некоторые другие действия позволяют объекту переходить в разрешенное состояние. Например, субъект может завершить работу с объектом, не использующим коллективный доступ, что переводит объект из занятого состояния в разрешенное.

Запрещенное состояние имеет место тогда, когда объект управления объявлен неработоспособным. Например, компонент сервисной сети ИПС АСУ ССН может иметь параметры, выше допустимого порога (например, число сбойных ситуаций или температура коммутатора, сервера), неприемлемого для системы управления уровневой сетью.

Объект управления может быть объявлен запрещенным из любого рабочего состояния (объект может быть объявлен запрещенным вторично, потому что зафиксирована другая

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:01 Page 53

неисправность). Это может происходить во многих компонентах сервисных сетей ИПС АСУ ССН.

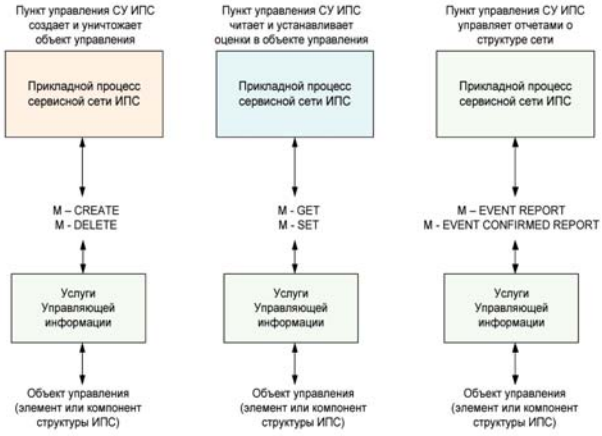


Рис. 4. Использование услуг управляющей информации для управления структурой ИПС АСУ ССН

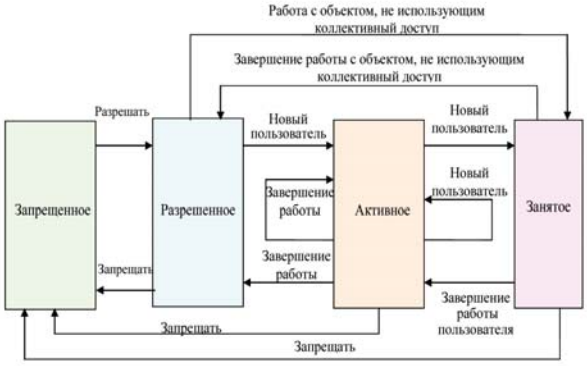


Рис. 5. Взаимосвязь рабочих состояний объектов управления структурой ИПС АСУ ССН и допустимые переходы между ними

Действие «завершение работы» позволяет объекту управления переходить из занятого к неактивному состоянию или из активного к разрешенному состоянию, потому что это действие не переводит объект управления в запрещенное или неактивное состояние.

При управлении структурой ИПС описание трех административных состояний объекта управления может быть следующим (рис. 6):

– не заблокирован: объект управления может использоваться;

– заблокирован: объект управления не может использоваться;

– закрытие: объект управления может использоваться текущими пользователями, но не может использоваться новыми пользователями.

Некоторые ресурсы ИПС не могут быть заблокированы, следовательно, они не могут находиться в заблокированном состоянии. Например, файл-сервер локальной сети ПУ ССН с доступом только для чтения (read-only) не может быть заблокирован за исключением подмножеств файлов, которые могут быть засекреченными или иметь ограниченный доступ. Кроме того, некоторые ресурсы не могут быть закрытыми, и там нет ситуаций, как «закрытое состояние». Так административный логический канал в плате коммутатора пакетов должен быть постоянно в разблокированном состоянии, т.к. любое закрытие канала 0 в интерфейсах передачи данных может создать хаос в зависимых логических каналах и соединениях.

Рис. 6. Административные состояния объектов ИПС АСУ ССН при управлении ее структурой

Запрещенное заблокированное состояние определяет объект управления, который административно запрещен для использования. Состояние также можно считать запрещенным, если оно связано с определенными проблемами. Для перехода объекта управления в рабочее состояние, необходимо провести диагностику, а также некоторые действия, чтобы вначале перевести объект в незаблокированное и разрешенное состояние.

Разрешенный заблокированный объект управления запрещен административно для использования, но в нем нет никаких отказов. Это состояние имеет место в ресурсах, предназначенных для резервирования, которые вводятся в действие, когда отказывают другие разрешенные модули.

Занятый закрытый объект управления действует, но по определенным причинам СУ ИПС при управлении ее структурой закрывает ресурс. Эта ситуация имеет место, когда ресурс ИПС АСУ ССН должен быть отключен, или объект имеет малую доступность для пользователей АСУ ССН, обращающихся к нему. Обычно переход объекта управления в это состояние обусловлен его недостаточной производительностью элемента ИПС.

Запрещенное не заблокированное состояние административно не запрещено для использования, однако ввиду определенных причин, фиксируется запрещенное состояние. Это обычно наблюдается при определенных неполадках в программном или аппаратном обеспечении компонентов сервисных сетей ИПС АСУ ССН после воздействия атак противника или нарушителей.

Разрешенное не заблокированное состояние – состояние, когда объект управления в рабочем режиме. Следующее активное незаблокированное состояние определяет объект управления, который является действующим, используется и имеет свободную производительность (пропускную способность) для дополнительных пользователей.

Занятый незаблокированный объект управления – это объект, который либо занят, либо работает с максимальной производительностью. В этом состоянии другие пользователи не имеют доступа к объекту управления, пока обслуживаемые им пользователи, не освобождают части или всего ресурса.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:02 Page 54

Активное закрытие – это состояние объекта управления, когда он в настоящее время доступен и имеет производительность для предоставления новых услуг, но не принимает на обслуживание любого.

Активное незаблокированное состояние – это состояние, в котором объект управления обладает свободной производительностью и может использоваться. На рисунке 7 в качестве варианта показан один из возможных сценариев для организации управления структурой ИПС АСУ ССН при необходимости временного введения сегмента сервисной сети с коммутатором пакетов (маршрутизатором или сервером услуг) и подключенных к нему пользователям с последующим отключением этого сегмента.

Рис. 7. Возможный сценарий управления структурой ИПС АСУ ССН

Сначала пункт управления СУ ИПС открывает магистраль (канал) коммутатору пакетов (маршрутизатору, криптомаршрутизатору, серверу) путем использования сигнала разрешения управления конфигурацией. Затем предполагается, что магистраль (тракт) находится в активном состоянии и принимает нагрузку. В случае высокой занятости магистрали (тракта), что может быть источником проблем (переполнение буферных накопителей и т.д.), коммутатор (маршрутизатор, криптомаршрутизатор, сервер) извещает об этом пункт управления, который посылает сигнал о закрытии.

Эта директива (команда) определяет в коммутаторе пакетов (маршрутизаторе, криптомаршрутизаторе, сервере) активное состояние магистрали до тех пор, пока пользователи, которые работают с магистралью, не завершат сеансы связи или до тех пор, пока коммутатор (маршрутизатор, криптомаршрутизатор, сервер) не выдаст преждевременное прекращение из-за неблагоприятной ситуации. Затем пункт управления посылает команду блокировки, прекращая использование магистрали (тракта), тем самым, исключая сегмент из сервисной сети ИПС АСУ ССН.

Представленных выше сценариев в процессе функционирования сервисных сетей ИПС АСУ ССН может быть достаточно много. Если ситуация такова, то ее ДЛ ОУ ИПС АСУ ССН может разрешить самостоятельно с использованием моделей и сервиса управляющей информации.

Однако, бывают ситуации, когда необходимо рассчитать либо новый участок сервисной сети ИПС АСУ ССН, состоящий из нескольких коммутаторов (маршрутизаторов, серверов), либо рассчитать структуру всей ИПС АСУ ССН в условиях ограниченного ресурса, либо требуется изменить структуру одной сервисной сети из состава ИПС АСУ ССН, так как она уже не обеспечивает требуемые показатели эффективности обслуживания пользователей АСУ.

Все эти сложные сценарии требуется реализовывать обоснованно с привлечением определенных моделей, т.е. иметь в составе прикладных процессов ИПС АСУ ССН элементы поддержки принятия обоснованных решений по выбору вариантов новой структуры. При этом задачей управления структурой ИПС АСУ ССН является оптимальная перестройка структуры (в случаях, когда это необходимо: ввод в строй новых или выход из строя существующих узлов ИПС АСУ ССН, существенное изменение числа пользователей ИПС, старая структура уже не обеспечивает требуемые качественные показатели не смотря на все усилия по управлению функционированием ИПС и т.д.).

При известных зафиксированных конфигурациях сервисных сетей $Netw_j$, параметрах поступающей нагрузки $\Lambda_j = \{\lambda_{ckj}\}$, процедурах обслуживания $Proc_j$, управление структурой $\mathbf{U}_{StrIP}$ должно обеспечивать минимизацию суммарных приведенных отказов в обслуживании (т.е. когда время обслуживания превышает допустимое значение) в каждой сервисной сети ИПС АСУ ССН (что равносильно минимизации времени обслуживания), т.е. выбираться из условия:

$$\min Q_{\Sigma j} = \min_{\mathbf{U}_{StrIP}} \sum_{c,k} \lambda_{ckj} P_{ckj}^{pot}(\Lambda_j, S_j, Proc_j), \quad (8)$$

где P_{ckj}^{pot} – вероятности потери требования или отказа в обслуживании ckj-го потока в сервисной сети $Netw_j$ с нагрузкой $\Lambda_j = \{\lambda_{ckj}\}$, структурой S_j и процедурах обслуживания $Proc_j$.

Как правило, для применяемых в ИПС АСУ ССН процедурах обслуживания $Proc_j$ существует определенная детерминированная основа, наличие которой позволяет существенно упростить выражение (8):

$$\min Q_{\Sigma j} = \min_{\mathbf{U}_{StrIP}} \sum_{c,k} \lambda_{ckj} P_{ckj}(\Lambda_j, S_j), \quad (9)$$

Оптимизация функционала (9) аналитическими методами для таких сложных систем, какими являются ИПС АСУ ССН, практически неосуществима, т.к. сопряжена с непреодолимыми на сегодняшний день вычислительными трудностями [1]. В связи с этим целесообразны другие подходы, основанные на имитационном моделировании функционирования ИПС АСУ ССН.

Действительно, чтобы оценить тот или иной вариант структуры сервисной сети, один из которых будет выбран в качестве окончательного и реализован (например, с использованием моделей и сервиса общей управляющей информации) в процессе управления структурой ИПС АСУ ССН, необходимо, либо иметь возможность рассчитать обоснованные показатели эффективности обслуживания заявок пользователей для вариантов структуры сети при фиксированных процедурах обслуживания $Proc_j$, вариантах коммутации линий доступа, фиксированной маршрутизации в сервисной сети $Netw_j$ и тривиальном управлении функционированием ИПС (а это практически нереализуемо), либо получить численные значения этих показателей в процессе имитационного моделирования функционирования сервисных сетей ИПС с предложенной нагрузкой и разными вариантами структуры.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:03 Page 55

Поэтому, в связи с чрезвычайной сложностью получения аналитических выражений для показателей эффективности обслуживания заявок пользователей АСУ ССН средствами ИПС, при создании современных систем управления предпочтение отдается второму подходу, предполагающему организацию процессов управления структурой ИПС АСУ ССН с использованием в контуре управления СУ ИПС ее имитационной модели (рис. 8).

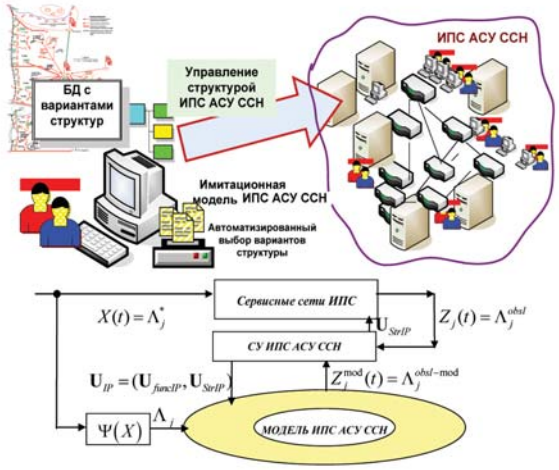


Рис. 8. Организация управления структурой ИПС АСУ ССН с применением имитационной модели ее функционирования в контуре СУ ИПС

Обычно имитационная модель ИПС АСУ ССН создается в рамках специального программного обеспечения сервера оперативно-технического управления СУ ИПС. При этом ДЛ ОУ, отвечающее за организацию управления структурой ИПС, при необходимости изменения существующей структуры (развитие сети, подключение новых пользователей, изменение дислокации, отключение отдельных сегментов сетей, выход из строя отдельных элементов и компонентов сервисных сетей ИПС и т.д.), осуществляет анализ задачи управления, подготавливает (автоматизировано или вручную) возможные варианты структурного построения сетей, совместно с данными о нагрузке.

После этого пакет исходных данных выдается в сервер подсистемы оперативно-технического управления для осуществления моделирования и получения оценки параметров функционирования сервисных сетей ИПС и ИПС АСУ ССН в целом по каждому из вариантов. Полученные сведения о параметрах, подвергаются анализу, в результате которого выбирается наиболее целесообразный вариант структуры, которую необходимо реализовать соответствующими процессами управления (с использованием моделей и сервиса управляющей информации).

Таким образом, управляющие решения по структуре ИПС АСУ ССН вырабатываются на основе анализа вариантов структур на имитационной модели ИПС, которая включает полное морфологическое описание сервисных сетей в ее составе, обеспечивающее, в совокупности с отображением нагрузки, поступающей в реальности на ИПС, изоморфность модели объекту управления (т.е. ИПС АСУ ССН). Время выбора вариантов структуры можно существенно сократить, если в сервере управления будут храниться заранее сформированные варианты структур для разных условий эксплуатации, и будут реализованы программы отбраковки неприемлемых вариантов структур.

Сравнительная характеристика разработанных методов управления структурой ИПС АСУ ССН для разных уровней изменений исходной структуры приведена на рис. 9 и 10.

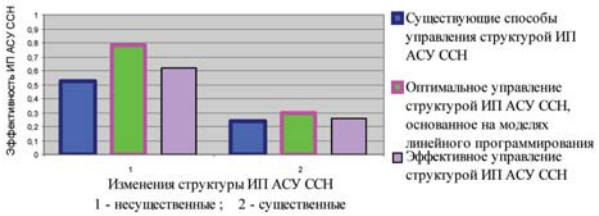


Рис. 9. Эффективность применения методов оптимального и эффективного управления структурой ИПС в части задачи управления процессами подключения пользователей АСУ ССН к средствам предоставления информационных услуг

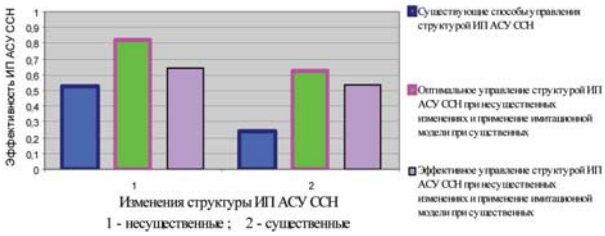


Рис. 10. Эффективность применения методов оптимального и эффективного управления структурой ИПС АСУ ССН совместно с применением имитационной модели в условиях существенных изменений исходной структуры

Результаты показывают, что при несущественных изменениях исходной структуры, когда уровень внешних воздействий на ИПС незначителен и есть возможность маневрировать существующими резервами ИПС, задача управления структурой сводится к задаче 1 (рис. 2) – управление процессами подключения пользователей АСУ ССН к средствам предоставления информационных услуг, а применение разработанных методов оптимального (на основе моделей линейного программирования) и эффективного управления позволяет значительно повысить (в 1,3-1,6 раза) эффективность функционирования ИПС АСУ ССН.

В условиях значительных деструктивных воздействий и существенной деградации исходной структуры, когда функционирование ССН происходит в чрезвычайных условиях эксплуатации и велика вероятность существенных изменений в структуре ИПС АСУ ССН, что может затруднить получение пользователями (ДЛ ОУ ССН и СПО КСА АСУ) требуемых ИУ в необходимых объемах и качестве, предложенные методы недостаточно эффективны и должны применяться дополнительные процедуры, направленные на управление процессами ввода резервных средств ИПС для восстановления поврежденных элементов или формирования новой структуры ИПС при сложившихся условиях эксплуатации (управление структурой сводится к задаче 2

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:03 Page 56

рис. 2). Так совершенствование предложенных методов управления путем добавления процедур выбора вариантов структур с использованием имитационной модели ИПС, позволяет также существенно повысить эффективность функционирования ИПС АСУ ССН (рис. 10).

Кроме того совместное применение разработанного комплекса методов позволяет существенно сократить время формирования новой структуры ИПС АСУ ССН (в среднем в 1,9-2,1 раза в зависимости от сложности структуры, по сравнению с существующими методами неавтоматизированного управления (рис.11).

Рис. 11. Сравнительная характеристика комплекса разработанных методов управления структурой ИПС АСУ ССН с существующими методами по времени формирования новой структуры (в мин.)

Заключение

В последние годы во многих странах создаются сложные организационно-технические системы специального назначения (ССН), которые призваны играть существенную роль в деле обеспечения обороноспособности, безопасности государств и поддержании в них правопорядка. Для обеспечения гарантированного эффективного функционирования ССН в различных условиях эксплуатации организуют непрерывное управление ими средствами высокоорганизованных автоматизированных систем управления ССН, в составе которых для обеспечения требуемого уровня качества процессов управления, создаются информационные подсистемы (ИП АСУ ССН), обеспечивающие как должностным лицам органов управления, так и комплексам средств автоматизации АСУ ССН предоставление необходимых информационных услуг.

Однако эффективное функционирование самой ИПС АСУ ССН невозможно без организации управления ею, особенно в чрезвычайных условиях эксплуатации. Для этого выделяются комплексы программно-технических средств, как из состава АСУ ССН, так специально созданные комплексы для СУ ИПС, которые в совокупности образуют выделенную распределенную СУ подсистемой, выполняющую ряд задач управления, среди которых одной из важнейших является задача управления структурой ИПС.

Эта задача сводится к управлению процессами подключения пользователей АСУ ССН к средствам предоставления информационных услуг если ССН функционирует в условиях приемлемого (допустимого) уровня внешних воздействий, когда существенные изменения первичной структуры ИПС АСУ ССН отсутствуют и есть возможность маневрировать существующими резервами ИПС.

Если же функционирование ССН происходит в чрезвычайных условиях, когда существует возможность существенных изменений в структуре ИПС АСУ ССН, то должны применяться другие процедуры, направленные на управление процессами ввода резервных средств ИПС для восстановления поврежденных элементов или формирования новой структуры ИПС.

Реализация оптимального и эффективного управления структурой ИПС осуществляется на основе предложенных в работе методов управления, позволяющих существенно повысить эффективность функционирования информационной подсистемы АСУ ССН.

Литература

1. *Буренин А.Н., Легков К.Е.* Инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления. М.: ИД Медиа Паблишер. 348 с.

2. *Буренин А.Н., Курносов В.И.* Теоретические основы управления современными телекоммуникационными сетями. Под ред. д-ра техн. наук, проф. В.И. Курносова. М.: Наука. 2011. 464 с.

3. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. М.: Наука. 1974. 542 с.

4. *Тренер Д.* Вероятность, статистика и исследование операций. М.: Статистика. 1976. 387 с.

5. *Буренин А.Н., Легков К.Е.* Особенности архитектур, функционирования, мониторинга и управления полевыми компонентами современных инфокоммуникационных сетей специального назначения // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2013. Т. 5. № 3. С. 12-17.

6. *Буренин А. Н., Легков К.Е.* К вопросу математического описания потоков управляющей информации в процессе управления современной инфокоммуникационной сетью специального назначения // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2013. Т. 5. № 5. С. 8-12.

7. *Ланне А. А., Улахович Д. А.* Многокритериальная оптимизация. Л.: ВАС, 1984. 87 с.

8. *Буренин А.Н., Легков К.Е., Умаров А.Б., Борисов А.Ю.* К вопросу моделирования функционирования современных инфокоммуникационных сетей специального назначения // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 1. С. 52-58.

9. *Ральфа Г.* Анализ решений. Введение в проблему выбора в условиях неопределенности. М.: Наука. 1977. 408 с.

10. *Burenin A.N., Legkov K.E.* Methodological approaches to formalize management infocommunication system and networks of special purpose/. Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. №. 4. С. 64-67.

11. *Буренин А.Н., Легков К.Е.* Особенности организации процессов управления инфокоммуникационными сетями специального назначения // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 2. С. 34-41.

12. *Bower J.L.* The role of conflict in economic decision-making groups, some empirical result // The Quarterly Journal of Economics. 79. № 2. 1965. P. 424 – 444.

13. *Буренин А.Н., Легков К.Е.* Методические подходы к формализации управления инфокоммуникационными системами и сетями специального назначения // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 5. С. 64-67.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:03 Page 57

METHOD OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF FUNCTIONING BASED ON THE PROCEDURES OF OPERATIONAL MANAGEMENT OF INFORMATION SUBSYSTEMS STRUCTURE

Andrey N. Burenin, *JSC "Research Institute" Rubin ", St. Petersburg, Russia*
Konstantin E. Legkov, *Military Space Academy named A. F. Mozhaisky, St. Petersburg, Russia,* ***constl@mail.ru***

Abstract
With the provision of defense, security and law and order in any country in the world, complex organizational and technical systems for special purposes are being deployed for the relevant ministries and departments. In order to ensure their effective functioning in various operating conditions (including emergency), management systems are created, which, as a rule, are automated. Typically, these automated control systems create information subsystems that provide the required values ??of the quality indicators of the management processes of organizational and technical systems by providing management and application processes officials with software packages with automation facilities with a certain range of required information services. Like any multifunctional complex system of special purpose, the information subsystem should function with given values ??of efficiency indicators and be stable, i.e. to provide the given efficiency of functioning in conditions, both real reliability of its means, and in case of application of all complex of information and destructive influences on it. To ensure the fulfillment of the goals set before the information subsystem, it must be manageable, especially under emergency conditions.
The paper discusses the issues of ensuring the effective and stable functioning of information subsystems that are part of automated management systems for complex organizational and technical objects (systems), when in the course of their operation there arises the need to adjust the structure. To ensure the functioning of information subsystems with a given efficiency and stability in conditions of real reliability of their facilities and a wide range of impacts, they must be manageable. To manage such subsystems, management systems based on deployable software and hardware complexes are specially created. Dedicated and distributed management systems of subsystems, perform a number of management tasks corresponding to the NMS management model. Among all the tasks of management, the problem of controlling the structures of subsystems is singled out. Approaches and procedures for managing the structure of information subsystems are proposed, which make it possible to improve the efficiency of their operation.

Keywords: *information subsystem; automated control system; level networks; information impacts; information service.*

References

1. Burenin A.N., Legkov K.E. (2015). *Infocommunication systems and networks for special purposes. Bases of construction and management.* M.: publishing house Media publisher. 348 p. (*In Russian*)
2. Burenin A.N., Kurnosov, V.I. (2011). *Theoretical foundations of management of modern telecommunication networks.* Under the editorship of Dr. sci. Sciences, Professor V. Kurnosov, I. Moscow: Science. 464 p. (*In Russian*)
3. Wentzel E.S. (1974). *Probability Theory*. Moscow: Nauka. 542 p. (*In Russian*)
4. Trainer D. (1976). *Probability, statistics and operations research*. Moscow: Statistics. 387 p. (*In Russian*)
5. Burenin A.N., Legkov K.E. (2013). Features of architecture, operation, monitoring and management of field components of modern information and communication networks. *H&ES Research*. Vol. 5. No. 3. Pp. 12-17. (*In Russian*)
6. Burenin A.N., Legkov K.E. (2013). Mathematical description of flows governing information in the management process of modern information and communication network special purpose. *H&ES Research*. Vol. 5. No. 5. Pp. 8-12. (*In Russian*)
7. Lanna A.A., Ulakhovich D.A. (1984). *Multiobjective optimization*. L.: MAC. 87 p. (*In Russian*)
8. Burenin A.N., Legkov K.E., Umarov, B.A., Borisov A.Y. (2016). To the question of modeling the functioning of a modern infocommunication networks. *H&ES Research*. Vol. 8. No. 1. Pp. 52-58. (*In Russian*)
9. Ralph G. (1977). *Analysis solutions. Introduction to the problem of choice under uncertain-STI*. Moscow: Nauka. 408 p (*In Russian*)
10. Burenin A.N., Legkov K.E. (2015). Methodological approaches to formalize management infocommunication system and the networks of special purpose. *H&ES Research*. Vol. 7. No. 4. Pp. 64-67.
11. Burenin A.N., Legkov K.E. (2015). Peculiarities of organization of management processes for communications-telecommunication networks of special purpose. *H&ES Research*. Vol. 7. No. 2. Pp. 34-41. (*In Russian*)
12. Bower J.L. (1965). The role of conflict in economic decision-making groups, some empirical result. *The Quarterly Journal of Economics*. 79. No. 2. Pp. 424-444.
13. Burenin A.N., Legkov K.E. (2015). Methodical approaches to formalization of management info-communication systems and networks. *H&ES Research*. Vol. 7. No. 5. Pp. 64-67. (*In Russian*)

Information about authors:
Andrey N. Burenin, Ph. D., JSC "Research Institute" Rubin ", St. Petersburg, Russia
Konstantin E. Legkov, Ph. D., Military Space Academy named A. F. Mozhaisky, St. Petersburg, Russia

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:04 Page 58

УПРАВЛЕНИЕ

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТАХ

Доткулова Анастасия Сергеевна,
МТУСИ, Москва, Россия, asoll05@inbox.ru

Мосева Марина Сергеевна,
МТУСИ, Москва, Россия, mmoseva@yandex.ru

Яшина Марина Викторовна,
МТУСИ, Москва, Россия, yash-marina@yandex.ru

Ключевые слова: *образовательный процесс, автоматизация документооборота, информационные технологии, образовательный стандарт, информационная система.*

Современное состояние образовательного процесса в университетах Российской Федерации характеризуется революционными изменениями как в организационно-материальной сфере, так и в учебно-методической. Это связано с государственными мероприятиями по переходу к "Менеджменту качества" [1] и интеграции системы образования России с образовательной системой Европы, которая привела к принятию ряда новых стандартов образования, обеспечивающих реформу национального высшего образования в соответствии с основными положениями и принципами Болонской декларации [2] для сближения и гармонизации стран с целью создания единого европейского пространства высшего образования. На сегодняшний день в процесс включены 48 стран-участниц. Запуск этих процессов требует стандартизации и унификации подходов к формированию методического обеспечения, единых форматов и структур данных в сложном процессе подготовки кадров высшего образования. В то же время различные области профессиональной инновационной деятельности имеют свои особенности, например, нельзя осуществлять подготовку медиков и журналистов по одинаковым схемам.

Таким образом для обеспечения качественного образования в техническом вузе одним из важнейших аспектов является формирование учебно-методического комплекса документов. Учебно-методический комплекс дисциплины – совокупность документов, определяющих изучение конкретной дисциплины. Основным документом УМКД является рабочая программа дисциплины. Формирование УМКД является сложным процессом, требующим больших временных и трудовых затрат. Поэтому целесообразно автоматизировать процесс составления документации, являющийся неотъемлемой частью образовательного процесса, а также обеспечить контроль выполнения учебно-методической работы и оперативный доступ ко всей документации, составляющей учебно-методический комплекс дисциплины.

В работе обсуждаются основные проблемы высшего технического образования, возникшие в результате реформ российской системы образования, и представлена модель информационной системы сопровождения образовательного процесса, обеспечивающая автоматизированное формирование документов, регулирующих образовательный процесс. Представленная модель позволяет легко изменять структуру разрабатываемой документации в случае изменений нормативных актов, регламентирующих образовательный процесс и сопровождающую его документацию.

Информация об авторах:
Доткулова Анастасия Сергеевна, *студент 3 курса аспирантуры, МТУСИ, Москва, Россия*
Мосева Марина Сергеевна, *студент 2 курса магистратуры, МТУСИ, Москва, Россия*
Яшина Марина Викторовна, *д.т.н., профессор, МТУСИ, Москва, Россия*

Для цитирования:
Доткулова А.С., Мосева М.С., Яшина М.В. Особенности систем информационного сопровождения образовательного процесса в технических университетах // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №9. С. 58-64.

For citation:
Dotkulova A.S., Moseva M.S., Yashina M.V. (2017). Features of the information support of educational process at the technical university. *T-Comm*, vol. 11, no.9, pp. 58-64. (*in Russian*)

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:04 Page 59

Основные направления реформы системы высшего образования Российской Федерации 2005-2016 гг.

Для создания единой европейской системы образования Россия присоединилась к Болонскому процессу. Болонский процесс – процесс сближения и гармонизации европейских стран с целью создания единого европейского пространства высшего профессионального образования. Официальной датой начала считается 19 июня 1999 г. – дата подписания Болонской декларации. На сегодняшний день в процессе участвуют 48 стран. Болонский процесс открыт для присоединения других стран.

Основными направлениями, намеченными Болонской декларацией являются:

– введение и применение системы кредитов; при этом Европейская система переноса кредитов (ECTS) считается общеевропейской системой;

– увеличение мобильности студентов, преподавателей, научных работников и управляющих;

– развитие сотрудничества по вопросам качества образования;

– введение европейских единиц измерения в высшем образовании;

– трехуровневая система образования: бакалавриат-магистратура-аспирантура;

– интеграция единого образовательного и единого исследовательского пространств;

– внедрение систем квалификаций высшего образования, которыя основываются на компетентностно-ориентированном подходе.

Болонский процесс в России

Основные положения и принципы Болонского процесса в России стали вводиться с 2003 г. с момента подписания берлинского коммюнике. Согласно приказу Министерства науки и образования Российской Федерации от 15 февраля 2005 г. «О реализации положений Болонской декларации в системе высшего профессионального образования Российской Федерации на 2005-2010 годы» система высшего образования России должна быть приравнена к европейским стандартам. В ходе его реализации все ВУЗы начали переход на двухуровневую систему образования (бакалавр – магистр).

С 2011/12 учебного года наша страна полномасштабно вступила в Болонский процесс, введя в действие ФГОС высшего профессионального образования по направлениям подготовки квалифицированных магистров и бакалавров, которые основаны на компетентностно-ориентированном подходе и кредитной системе.

29 декабря 2012 г. Президентом Российской Федерации был подписан Федеральный закон № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации». (Закон был принят Государственной Думой 21 декабря 2012 г.) Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» заменил с 1 сентября 2013 г. два действующих до этого времени федеральных закона: Закон РФ «Об образовании» и ФЗ «О высшем и послевузовском профессиональном образовании».

Данный закон регулирует правовые, организационные и экономические аспекты образования в Российской Федерации, основные направления государственной политики Российской Федерации в образовательной сфере, общие правила функционирования системы образования России и осуществления образовательной деятельности, определяет правовые отношения участников в сфере образования.

Согласно ФЗ №273-ФЗ в Российской Федерации существуют следующие уровни профессионального образования:

1) среднее профессиональное образование;

2) высшее образование – бакалавриат;

3) высшее образование – специалитет, магистратура;

4) высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации.

Несмотря на попытку приведения образования Российской Федерации к европейским стандартам, оно существенно отличается от систем образования в Европе.

Закон предусматривает необходимость взаимодействия образования и научно-исследовательской деятельности в высшем образовании для повышения качества подготовки обучающихся по образовательным программам высшего образования, привлечения обучающихся к научным исследованиям под руководством научных работников, применения полученных знаний и открытий науки и техники в образовательной деятельности.

Задачи, решения которых требует внедрение Болонских принципов в российскую систему образования:

– улучшение языковой подготовки сотрудников и студентов для осуществления мобильности и осуществления научно-исследовательской деятельности, признаваемой за рубежом (публикации в изданиях, индексируемых в международных библиографических базах данных и получение патентов в зарубежных организациях);

– усовершенствование образовательных программ и сопровождающей их документации (рабочие программы, фонды оценочных средств, системы и методы контроля успеваемости) в соответствии со спросом на международном рынке труда для осуществления качественной подготовки специалистов, в том числе и иностранных;

– увеличение финансирования научно-исследовательской деятельности для обеспечения известности российских исследований и разработок на международном уровне.

Структура образовательного процесса

Образовательный процесс – направленный процесс организации деятельности обучающихся по получению ими знаний, умений, навыков, овладению компетенциями, приобретению опыта практической деятельности и применения знаний в жизни, и формированию мотивации для получения образования в течение всей жизни. Рассмотрим основные компоненты регулирования образовательного процесса, которые необходимы для обеспечения качественного образования.

Основным документом, регламентирующим подготовку специалистов с высшим образованием, является Федеральный закон №273-ФЗ от 21 декабря 2012 г. «Об образовании в Российской Федерации» [3]. Согласно данному закону обучение в настоящее время в ВУЗах осуществляется по Федеральным государственным образовательным стандартам высшего образования (ФГОС ВО), которые вступили в силу в 2014 г.

ФГОС является одним из самых главных документов, регламентирующих образовательный процесс. В настоящее время действующим стандартом является Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образо-

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:04 Page 60

вания (ФГОС ВО или ФГОС 3+). ФГОС ВО определяет объем программы обучения (в зачетных единицах); срок получения образования; область и объекты профессиональной деятельности; виды профессиональной деятельности, к которым готовятся выпускники, освоившие программу; требования к освоению программы обучения (перечень формируемых компетенций); структуру программы обучения (модули, из которых состоит программа и их объем в соответствии с типом программы образования); виды и типы практик; требования к кадровым условиям реализации программы обучения; требования к материально-техническому и учебно-методическому обеспечению программы обучения.

Согласно ФГОС разрабатывается основная образовательная программа (ООП). ООП – это комплексный проект образовательного процесса в ВУЗе по определенному направлению, уровню и профилю подготовки, представляющий собой систему связанных документов (рис. 1):

– учебный план, календарный график учебного процесса;

– рабочие программы дисциплин и фонды оценочных средств;

– учебно-методические материалы для изучения дисциплин;

– ресурсное обеспечение ООП (карта обеспеченности студентов учебной и методической литературой, перечень программного и технического обеспечения дисциплин и др.).

Учебный план – документ, который определяет перечень, трудоемкость, последовательность и распределение по периодам обучения дисциплин (модулей), практики, иных видов учебной деятельности и формы аттестации обучающихся.

Для осуществления компетентностно-ориентированного подхода в соответствии с новыми образовательными стандартами необходимо разрабатывать методическое обеспечение образовательных программ с соблюдением соответствия компетенций и видов деятельности обучающегося, на которые направлен образовательный процесс. В связи с вступлением в силу ФГОС 3+ и в скором времени ФГОС четвертого поколения увеличилась нагрузка по составлению и актуализации документации, способствующей учебному процессу, такой как рабочий учебный план, рабочие программы дисциплин (РПД), фонды оценочных средств (ФОС), средства оценивания результатов освоения дисциплин. Так как они должны постоянно находиться в актуальном состоянии, и ВУЗ должен гарантировать преподавание дисциплины на современном уровне, выпускающие кафедры вузов вынуждены проводить их обновление ежегодно.

Основным документом учебно-методического комплекса дисциплины является рабочая программа дисциплины. Рабочая программа дисциплины имеет сложную структуру и состоит из следующих элементов:

– цели и задачи освоения дисциплины;

– перечень приобретаемых компетенций и результаты освоения дисциплины;

– объем учебной нагрузки и содержание дисциплины согласно объему;

– средства контроля результатов освоения дисциплины;

– учебно-методическое обеспечение дисциплины;

– материально-техническое обеспечение дисциплины.

Рабочая программа должна быть составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению обучения и рабочего учебного плана направления. Взаимосвязь вышеперечисленных документов при формировании рабочей программы дисциплины представлена на рис. 2.

Рис. 1. Применение информационных систем в образовании

Рис. 2. Процесс формирования рабочей программы

Вторым основным документом УМКД является фонд оценочных средств (ФОС). Фонд оценочных средств – комплект методических материалов, нормирующих процедуры оценивания результатов обучения, т.е. установления соответствия между учебными достижениями и запланированными результатами обучения и требованиями образовательных программ, рабочих программ дисциплин.

ФОС как система оценивания состоит из трех частей:

1) Структурированный перечень формируемых и оцениваемых компетенций и соответствующих результатов обучения и методов контроля их освоения;

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:05 Page 61

2) Порядок контроля и оценивания осваиваемых компетенций (виды проводимых аттестаций, уровень требований и критерии оценки);

3) Применяемые средства контроля (вопросы к зачету/экзамену, компетенстностно-ориентированные тестовые задания, тематика курсовых работ/проектов, практические задания и задачи, лабораторные работы, тематика рефератов/докладов).

При планировании и разработке ФОС используется следующий набор элементов:

– цели и результаты обучения;
– индикаторы и критерии оценивания;
– виды, методы и формы контроля;
– средства оценивания, учебные задания.

Таким образом, формирование учебно-методического комплекса дисциплины очень трудоемкий процесс, требующий больших временных затрат. Для его формирования целесообразно разработать информационную систему, позволяющую значительно снизить временные затраты на разработку основной документации, входящей в состав УМКД.

Предпосылки использования информационных систем в образовательном процессе

В настоящее время существует тенденция к информатизации всех сфер деятельности человека. Современный мир немыслим без новейших цифровых технологий и Интернета, который проник во все сферы жизни.

Всё чаще в окружающем мире человеку начинают помогать компьютеры, роботы или специализированное программное обеспечение, ориентированное на продуктивность и качество выполнения работ. Технологии быстро и постоянно изменяются и довольно сложно уловить тенденции развития современной действительности.

Реализация рыночных реформ и ориентация российской экономики и образования на запад требует от России перехода на качественно иной уровень развития, в котором значительная роль отводится интернету, как основной части культуры, науки и образования.

Российский филиал исследовательского концерна GFK Group представил отчет «Тенденции развития Интернет-аудитории в России». Аудитория интернет-пользователей в России в возрасте от 16 лет и старше осталась на уровне 2015 г. – 70,4%, что составляет около 84 млн человек.

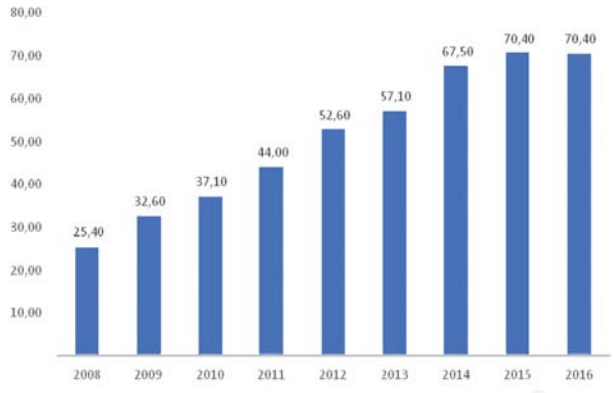


Рис. 3. Аудитория интернет-пользователей в России

Однако, использование мобильного Интернета для своих нужд с каждым годом всё возрастает. За 2016 год в России она выросла на 6 млн. В связи с этим информационные технологии всё больше и больше начинают ориентироваться на мобильный рынок и разрабатывать мультиплатформенные приложения. Такие изменения затрагивают все сферы общества, образование является не исключением.

Основные направления использования информационных технологий в образовательном процессе:

– обучающие информационные системы, включающие в себя информационную поддержку обучающегося;

– автоматизация контроля качества обучения посредством создания информационных систем, проверяющих объем и уровень знаний обучающихся;

– управляющие информационные системы, упрощающие организацию и контроль учебного процесса и связанной с ним документации;

– информационные системы, позволяющие автоматизировать составление методической документации.

Информационные технологии разбиваются на три основных компонента: цель и предмет изучения, способы и средства обучения и инструментарий для автоматизации учебного процесса. Смесь этих аспектов подразумевает в себе системный подход в образовании. Системный подход представляет собой технологизацию учебного процесса: у каждого обучающегося есть компьютеризированное рабочее место с необходимым программные обеспечением, непосредственный доступ к электронным учебным пособиям и презентационным материалам, общение с преподавателями происходит как с помощью интерактивных методов, так и классических лекционно-практических занятий, ведется электронный журнал посещаемости и успеваемости и т.д.

В связи с переходом к рыночной экономике и нарастающим процессом глобализации все более явным стало несоответствие российской системы подготовки специалистов мировым тенденциям образовательных систем.

Принятие новой системы стандартов сопровождается усложнением системы контроля деятельности учебных учреждений. В условиях быстро изменяющихся законодательной базы и требований к документации, сопровождающей образовательный процесс и предоставляемой в качестве отчётных документов при проведении лицензирования специальностей и подтверждении аккредитации ВУЗов, увеличивается нагрузка на профессорско-преподавательский состав по разработке и корректировке учебно-методической документации по дисциплинам специальностей, закрепленных за кафедрой. Ручная корректировка и разработка рабочих программ, фондов оценочных средств, связанная с необходимостью соответствия учебным планам и федеральным государственным образовательным стандартам, приводит к возникновению ошибок и несоответствий в формируемых документах. В связи с этим становится все более актуальной проблема внедрения систем автоматизированного формирования документации, сопровождающей учебный процесс.

Реализация рабочего места преподавателя должна предполагать возможность работы с документами как на рабочем месте, так и удаленно. Поэтому является целесообразным разработать информационную систему, позволяющую автоматизировать разработку документации, сопровождающей учебный процесс, как сервис в сети Интернет.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:06 Page 62

Обзор существующих информационных систем, сопровождающих информационный процесс

В настоящее время на рынке информационных технологий представлено много программных продуктов, упрощающих и автоматизирующих работу пользователя. Образовательная сфера не исключение.

Хотелось бы рассмотреть основные фирмы, активно внедряющие свои компоненты в образовательную сферу.

В настоящее время на рынке информационных технологий представлено много программных продуктов, упрощающих и автоматизирующих работу пользователя. Образовательная сфера не исключение.

Фирма «1С» разработала программу "1С:Университет". 1С:Университет" поддерживает многопользовательскую работу в локальной сети или через Интернет с использованием веб-браузеров или тонкого клиента и позволяет автоматизировать:

- Работу приемной комиссии;
- Планирование учебного процесса (учебные планы, нагрузка);
- Управление информацией о студентах (личные дела, учет посещаемости и успеваемости, воинский учет);
- Работу с приказами;
- Печать дипломов, приложений и справок;
- Учет последующего трудоустройства выпускников;
- Учет оплаты за обучение [9].

Вторым ведущим разработчиком программного обеспечения для автоматизации и управления учебным процессом является лаборатория математического моделирования и информационных систем (ММИС) [10].

Программные продукты, которые разработали специалисты в лаборатории ММИС, активно используются для сопровождения многих этапов образовательного процесса:

- проектирование и проверка учебных планов специальностей по разным уровням подготовки;
- формирование и распределение учебной нагрузки;
- автоматизация работы с документацией приемной комиссии с выгрузкой данных в ФИС ГИА;
- управление контингентом студентов, учет оплаты, формирование отчетов и приказов;
- формирование электронной образовательной среды (ЭОС) и электронного портфолио студента;
- учет и анализ успеваемости студентов, оформление и печать документов об образовании;
- текущий и промежуточный контроль знаний с помощью компьютерных тестирований;
- автоматическое составление расписания занятий;

Данные системы имеют ряд существенных недостатков, основным является высокая стоимость. Помимо этого, интерфейс этих систем не всегда является интуитивно понятным. Так же формат выходных данных часто не соответствует требованиям.

Поэтому всё чаще встаёт вопрос разработки собственных моделей для сопровождения образовательного процесса актуальных как для студентов, так и для преподавателей.

Описание разработанного модуля РПД-МКИИТ

Рассмотрим архитектуру разработанного модуля автоматизации генерации рабочих программ и фондов оценочных средств.

Разработанный модуль представляет собой веб-интерфейс. Это обеспечивает возможность доступа к нему в любое время и с любого устройства, имеющего доступ в Интернет (рис. 4).

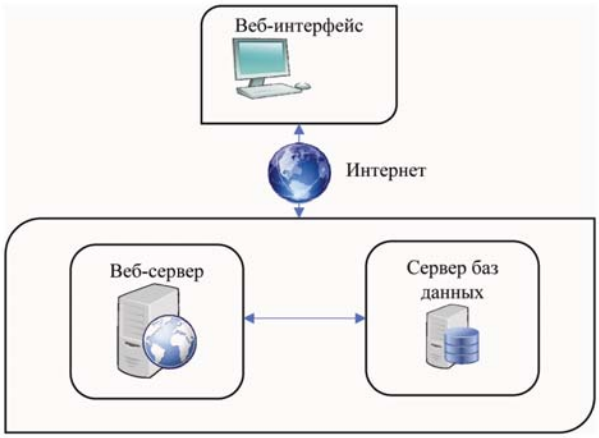


Рис. 4. Архитектура модуля РПД-МКиИТ

Для разработанной системы, обеспечивающей автоматизированную разработку документацию кафедры, можно выделить следующие роли и уровни доступа:

– заведующий кафедрой должен иметь возможность просматривать все имеющиеся в системе документы и при необходимости вносить корректировки;

– преподаватель формирует содержимое учебно-методических документов по своим дисциплинам, имеет возможность вносить корректировки только в свои документы до момента утверждения на текущий учебный год;

– администратор просматривает все сформированные документы и действия пользователей, обеспечивает отсутствие противоречий в системе и ее работоспособность.

Распределение ролей важно при составлении и работы с большими объемами документов, требующих аккуратность, внимательность и компетентность от каждого участника. Например, заведующим кафедр важно следить за продуктивностью преподавателей при работе с документами и при необходимости скорректировать или помочь при возникших трудностях. Преподавателям важно иметь возможность редактировать составленные программы и сопутствующие материалы, ведь преподавание сложный и довольно творческий процесс, требующих актуальных корректировок материалов для подготовки качественных специалистов. После рассмотрения ролей в системе, хочется перейти к самому процессу формирования рабочих программ, возможности хранения и обработки сопутствующих материалов.

Разработанный модуль взаимодействует с такими документами, как учебный план специальности, образовательный стандарт специальности, обеспечивает оперативный доступ к этим документам при необходимости.

Учебный план – это документ, который показывает график учебного процесса со всеми временными затратами, список дисциплин и разделение их на циклы, базовые и вариативные или факультативные части, устанавливает очередность и разделение по курсам и семестрам для каждой дисциплины, показывает общую трудоемкость дисциплины,

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:06 Page 63

виды и типы занятий, промежуточные и итоговые аттестации, виды практик и время на подготовку выпускных работ. Учебный план составляется согласно Стандартам и с учетом примерной основной образовательной программы специальности (ФГОС). В соответствии со Стандартом учебный план должен содержать количество учебных занятий за четыре года (у бакалавров) в объеме от 7992 до 9288 ч, но у большинства технических специальностей данная цифра фиксирована (8640 ч у бакалавров и 4320 ч у магистров) и в объеме от 4212 до 4428 ч и двух лет у магистров. Учебный план подготавливается учреждением самостоятельно, осуществляется и одобряется согласно порядку, который определяется её уставом. Обучение в рамках Учебного плана является бесплатным. Учебный план осуществляется с помощью расписания и является обязательным документом. Учреждение отвечает за выполнение Учебного плана в полном объеме и за качество его выполнения.

Рис. 5. Процесс формирования рабочей программы в модуле РПД-МКиИТ

Для взаимосвязи документов со структурой вуза была разработана база данных, в которой содержатся необходимые данные о подразделениях вуза, специальностях, кадровом составе, дисциплинах и др. Таким образом, данные о специальности, расчасовке дисциплины, перечне и описании компетенций по направлению берутся автоматически из соответствующего источника. Это значительно сокращает количество ошибок и время на составление документации.

Достоинства использования разработанного модуля при составлении рабочих программ и фондов оценочных средств дисциплин:

– существенно сокращается время, затрачиваемое преподавателем на разработку рабочей программы дисциплины;

– исключаются ошибки при заполнении расчасовки, перечня компетенций и связанных дисциплин;

– формируется выходной файл, оформленный с учетом требований ФГОС;

– все разработанные программы и фонды оценочных средств сохраняются в системе, что обеспечивает оперативный доступ к ним в любое время;

– поддерживается возможность редактирования уже созданных рабочих программ и фондов оценочных средств.

Литература

1. Национальный Стандарт Российской Федерации «Системы менеджмента качества. Руководящие указания по применению ГОСТ Р ИСО 9001-2001 в сфере образования». [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gociss.ru/doc/15.GOST_R_52614.2-2006.pdf (доступ свободный).

2. The Bologna Declaration of 19 June 1999. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.ehea.info/Uploads/Declarations/BOLOGNA_DECLARATION.pdf (доступ свободный).

3. Мультимедийный учебник МУМУ-2002. Грант Минобразования РФ № 2.7.6.(43.0)99.072, руководитель проекта д.ф.-м.н., проф. академик РАЕН Тихомиров В.В.

4. *Буслаев А.П., Магарил-Ильяев Г.Г., Тихомиров В.М., Селезнев О.В., Фарков Ю.А., Гольдман М.Л., Осипенко К.Ю., Яшина М.В.* Развитие курса математики в технических вузах (проблемы и перспективы) // Padagogische Probleme in der Ingenierausbildung. Int. Symp. IGIP-98. – Alsbach/Bergtrasse, 1998.

5. *Yashina M.V., Dotkulova A.S., Nakonechny I.I.* The method of cloud services using for testing in mathematical education. Proceedings of the 16th International Conference on Computational and Mathematical Methods on Science and Engineering, CMMSE 2014, 3-7 July, 2014, vol. 4, pp. 1309- 1327. ISBN 978-84-608-6082-2.

6. *Yashina M.V., Nakonechnyy I.I.* WEB Service for Data Extraction from Semi-structured Data Sources. Proceedings of the Ninth International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX. June 30 – July 4, 2014, Brunow, Poland. Advances in Intelligent Systems and Computing Volume 286, 2014, pp 499-510, URL:DOI 10.1007/978-3-319-07013-1 48.

7. *Буслаев А.П., Бурикова Т.А., Деза Н.В., Посицельская Л.Н. , Яшина М.В.* Применение информационно-вычислительных сетей для мониторинга сложных социально-технических процессов на примере системы сопровождения оценивания качества знаний по математике в вузе. Часть 1. ЕГЭ для бакалавров. Методическое пособие, 2013. Техполиграфцентр. 110 с.

8. *Буслаев А.П., Бурикова Т.А., Гусева А.С., Наконечный И.И., Яшина М.В.* Применение информационно-вычислительных сетей для мониторинга сложных социально-технических процессов на примере системы сопровождения оценивания качества знаний по математике в вузе. Часть 2. Технология аттестации. Методическое пособие, 2013. Техполиграфцентр. 72 с.

9. Официальный сайт фирмы «1С» [https://1c.ru].

10. Официальный сайт Лаборатории ММИС [http://www.mmis.ru].

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:06 Page 64

FEATURES OF THE INFORMATION SUPPORT OF EDUCATIONAL PROCESS AT THE TECHNICAL UNIVERSITY

Anastasia S. Dotkulova, *graduate student of Moscow University, Moscow, Russia,* ***asoll05@inbox.ru***
Marina S. Moseva, *2nd year student of Moscow University, Moscow, Russia,* ***mmoseva@yandex.ru***
Marina V. Yashina, *Doctor of Technical Sciences, Professor, MTUCI, Moscow, Russia,* ***yash-marina@yandex.ru***

Abstract
The current state of the educational process in the universities of the Russian Federation is characterized by revolutionary changes both in the organizational and material sphere, and in the educational and methodological field. This is due to the state measures for the transition to "Quality Management" [1] and the integration of the Russian education system with the educational system of Europe, which led to the adoption of a number of new educational standards that support the reform of the national higher education in accordance with the main provisions of the Bologna Declaration [2] for Rapprochement and harmonization of countries in order to create a single European space for higher education. To date, the process includes 48 member countries. The launch of these processes requires standardization and unification of approaches to the formation of methodological support, uniform formats and data structures in the complex process of training higher education personnel. At the same time, different areas of professional innovation have their own peculiarities, for example, it is impossible to train doctors and journalists on the same schemes.
Thus, to ensure quality education in a technical university, one of the most important aspects is the formation of a educational and methodological complex of documents. Educational-methodical complex of discipline is a set of documents that determine the study of a specific discipline. The main document of the educational and methodological complex of documents is the work program of the discipline. The formation of the educational and methodological complex of documents is a complex process, requiring large time and labor costs. Therefore, it is advisable to automate the process of drawing up documentation, which is an integral part of the educational process, as well as to ensure control over the implementation of educational and methodological work and prompt access to all the documentation that constitutes the educational and methodological complex of the discipline.
The paper discusses the main problems of higher technical education that arose as a result of the reforms in the Russian education system, and presents a model of an information system for the support of the educational process, which ensures the automated formation of documents regulating the educational process. The presented model allows to easily change the structure of the developed documentation in case of changes in normative acts regulating the educational process and accompanying its documentation.

Keywords: *educational process, automation of document circulation, information technologies, educational standard, information system.*

References

1. The National Standard of the Russian Federation "Quality Management Systems. Guidelines for the application of GOST R ISO 9001-2001 in the field of education". [Electronic resource] – Access mode: http://www.gociss.ru/doc/15.GOST_R_52614.2-2006.pdf (access is free).
2. The Bologna Declaration of June 19, 1999. [Electronic resource] – Access mode: http://www.ehea.info/Uploads/Declarations/BOLOGNA_DECLARATION.pdf (access is free)
3. Multimedia textbook MUMU-2002. Grant of the Ministry of Education of the Russian Federation № 2.7.6. (43.0) 99.072, the project manager is Doctor of Physics and Mathematics, prof. Academician of the Russian Academy of Natural Sciences Tikhomirov V.V.
4. Buslaev A.P., Magaril-Iliyaev G.G., Tikhomirov V.M., Seleznev O.V., Farkov Yu.A., Goldman M.L., Osipenko K.Yu., Yashina M.V. (1998). Course Development Mathematics in technical universities (problems and prospects). *Padagogische Probleme in der Ingenierausbildung.* Int. Symp. IGIP-98. -Alsbach / Bergtrasse.
5. Yashina M.V., Dotkulova A.S., Nakonechny I.I. (2014). *The method Of cloud services*. Proceedings of the 16th International Conference on Computational and Mathematical Methods on Science and Engineering, CMMSE 2014, July 3-7, 2014, vol. 4, pp. 1309-1327. ISBN 978-84-608-6082-2
6. Yashina M.V., Nakonechnyy I.I. (2014). *WEB Service for Data Extraction from Semi-structured Data Sources*. Proceedings of the Ninth International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX. June 30 – July 4, 2014, Brunow, Poland. Advances in Intelligent Systems and Computing Vol. 286, pp. 499-510, URL: DOI 10.1007 / 978-3-319-07013-1 48
7. Buslaev A.P., Burikova T.A., Deza N.V., Positsel'skaya L.N. , Yashina M.V. (2013). *Application of information and computer networks for monitoring complex social and technical processes using the example of a system for tracking the quality of knowledge in mathematics in a university*. Part 1. Unified State Examination for Bachelors. The methodical grant. Tehpoligratsentr, 110 p. (*In Russian*)
8. Buslaev A.P., Burikova T.A., Guseva A.S., Nakonechny I.I., Yashina M.V. (2013). *Application of information and computer networks for monitoring complex social and technical processes using the example of a system for tracking the quality of knowledge in mathematics in a university*. Part 2. Technology of attestation. The methodical grant. Tehpoligratsentr. 72 p. (*In Russian*)
9. Official website of the company "1C" [https://1c.ru].
10. The official site of the MIIS Laboratory [http://www.mmis.ru].

Information about authors:
Dotkulova Anastasia Sergeevna, graduate student of Moscow University, Moscow, Russia
Moseva Marina Sergeevna, 2nd year student of Moscow University, Moscow, Russia
Yashina Marina Victorovna, Doctor of Technical Sciences, Professor, MTUCI, Moscow, Russia

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:06 Page 65

ANALYTICAL ESTIMATION OF CAPACITY OF THE COMMUNICATIONAL CHANNEL WITH THE FREQUENCY RESPONSE OF THE RESONANCE FILTER IN THE PRESENCE OF ISI AND THE USE OF PSK-N-SIGNAL

Ilya M. Lerner,
Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia,
aviap@mail.ru

Keywords: *communicational channel capacity, resonance filter, PSK-n-signals.*

Volume of transmitted information exponentially increasing from year to year is a current trend of modern society that leads to the need for increasing the transmission speed of data transmission systems. This trend is the most pronounced among radio engineering data transmission systems, which currently operate under conditions of limited frequency resources and constantly increasing requirements to an effective frequency resource usage.
One of the most effective approaches to solving this problem is the conversion to the data transmission in the presence of intersymbol interference produced by selective systems presented at radio engineering data transmission systems. Despite the attractiveness of this approach, its technical implementation is associated with a number of difficulties that can lead to an increase of complexity of the receiver itself along with an increase in the number of interfering symbols. This ultimately arises the issue not only about the expediency of its implementation, but also about its practical feasibility.
Since the increase in the alphabet of channel symbols leads to the need to increase the signal-to-noise ratio (SNR) in order to achieve a given signal reception quality, it is advisable to consider receiving algorithms based on utilizing frequency filtering to increase SNR and consequent use of multithreshold decision device at situation of strong ISI in communicational channel.
In this paper, we consider capacity of such channel with the frequency response of the resonance filter and using PSK-n-signals. Capacity estimation was performed by analytical proving.
New properties for such channel were revealed.

Information about author:
Ilya M. Lerner, *associated professor. candidate of physico-mathematical sciences, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Department of Radioelectronic and Quantum Devices, Kazan, Russia*

Для цитирования:
Лернер И.М. Метод оценки пропускной способности реальных каналов связи с многопозиционными фазоманипулированными сигналами при наличии межсимвольных искажений и его применение // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №9. С. 52-58.

For citation:
Lerner I.M. (2017). Method for capacity estimation of real communicational channels with psk-n-signals in presence of ISI and its application. *T-Comm*, vol. 11, no.9, pp. 52-58.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:06 Page 66

Introduction

Volume of transmitted information exponentially increasing from year to year is a current trend of modern society that leads to the need for increasing the transmission speed of data transmission systems. This trend is the most pronounced among radio engineering data transmission systems (RDTS), which currently operate under conditions of limited frequency resources and constantly increasing requirements to an effective frequency resource usage [1].

One of the most effective approaches to solving this problem is the conversion to the data transmission in the presence of intersymbol interference (ISI) produced by selective systems presented at RDTS. Despite the attractiveness of this approach, its technical implementation is associated with a number of difficulties that can lead to an increase of complexity of the receiver itself along with an increase in the number of interfering symbols. This ultimately arises the issue not only about the expediency of its implementation, but also about its practical feasibility.

So widely used methods: zero-forcing filter (ZFF), zero-forcing equalizer (ZFE), linear minimum squared estimation (LMSE) equalizer and decision feedback equalizer (DFE) have a significant loss in noise immunity as opposed to optimal reception algorithms using the maximum likelihood (ML) criterion [1,2]. In some cases the first three methods of mentioned above cannot be realized for real channels [1] and as it was mentioned in [2] these methods are inadequate as compensators for the ISI on channels with spectral nulls, which may be encountered in radio transmission. The last one has the same problem as first three methods for channels, which may be encountered in radio transmission but with less effect. It should be noted that all of them do not lead to complete suppression of ISI and they provide good results only with minor ISI when amplitude frequency response has slow variation on magnitude [1,2].

As for ML algorithms (since they were constructed on Viterbi algorithm) their main disadvantage is the complexity of implementation, depending exponentially on the transmission speed and memory channel, which leads to the impossibility of their usage with a large alphabet of channel symbols. In the literature, various approaches to reducing the complexity of the Viterbi decoder for this case are considered: a decrease in channel memory by means of a preliminary linear correction, slightly distorting amplitude frequency response of the channel [3, 4], a shortened search of the most probable paths along the lattice [5,6]; combination of two methods mentioned above [7,8]. However, the complexity of the receiver in this case decreases insignificantly, still remaining much more complex than a linear equalizer. One of the latest works in this direction shows that obtaining suboptimal algorithms based on ML algorithms leads to considerable computational complexity described by exponent law when the number of channel symbols exceeds 4 and/or in a case of high transmission rate [1].

In this case, one of the most interesting approaches to getting high speeds on radio communication channel is the usage of predistortion signals and receiving algorithms concerted with them.

Since the increase in the alphabet of channel symbols leads to the need to increase the signal-to-noise ratio (SNR) in order to achieve a given signal reception quality, it is advisable to consider receiving algorithms based on utilizing frequency filtering to increase SNR and consequent use of multithreshold decision device at situation of strong ISI in communicational channel. Their efficiency is expedient to estimate the ultimate capacity of linear selective systems (capacity of channel in this particular case) in the absence of noise when the decision device is a multithreshold device. The last condition determines the efficiency limit for such RDTS.

It should be noted that using radio passband filters in the radio path of RDTS leads to additional ISI which influence is considered. So it would be better to obtain the solution of this problem for radio frequency signals.

Due to the fact that RDTS using multi-position phase-shift keying signals with n discrete states (PSK-n-signals) are the most widely spread nowadays, we will solve this problem for RDTS of this class.

In this paper, we present an analytical proving of capacity estimation for such channels with amplitude frequency response identical to resonant filter.

I. Problem statement

In this case, capacity estimation is considered for a communication channel (Fig.1), which consists of a transmitter, a linear time invariant (LTI) system, a receiver and a decision device (DD).

In this work, we assume that LTI system is a tuned resonant filter that possesses the following property: $\omega_0 / 2\Delta\Omega \geq 15$ where $2\Delta\Omega$ – the resultant bandwidth; ω_0 – resonant frequency of considered filter. We also assume that receiver is an ideal phase detector similar to DD that does not introduce additional ISI.

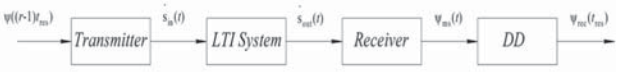


Fig. 1. The considered communication channel

We assume that each symbol of primary signal that impacts on the input of transmitter takes equiprobably one of the n phase values of the signal constellation

$$\psi_k = \left(k + 0.5v\,\mathrm{sign}\left(\|0.5n\| - 0.5n - 0.25\right) - \|0.5n\|\right)\Delta\varphi_{st}. \qquad (1)$$

Here $k = \overline{1,n}$; $\|\,.\,\|$ – rounding operation to the nearest integer; in accordance with the requirements to the PSK-n signal generated by the transmitter v takes zero for the PSK-n signal with initial shift of the signal constellation $\varphi_{cs} = 0$ and $v = 1$ when $\varphi_{cs} = \pi / n$; $\mathrm{sign}(\,.\,)$ – signum function; $\Delta\varphi_{st} = 2\pi / n$ – step between adjacent phase values of the signal constellation.

The PSK-n signal generated by the transmitter from the moment $t = 0$ can be represented as follows

$$\dot{s}_{in}(t) = \sum_{r=1}^{l}\left[1\left(t-(r-1)t_{res}\right) - 1\left(t-rt_{res}\right)\right]\exp\left(j\left(\omega_0 t + 2\vartheta_r + \vartheta_r - \varphi_0\right)\right) = \qquad (2)$$

$$= \sum_{r=1}^{l}\left[1\left(t-(r-1)t_{res}\right) - 1\left(t-rt_{res}\right)\right]\exp\left(j\left(\omega_0 t + \psi\left((r-1)t_{res}\right) - \varphi_0\right)\right)$$

where $l \in \mathbb{N}^*$ – the number of transmitted radio pulses forming the PSK-n signal; t_{res} – resolution time is the minimum transmission time of each of pulses when any primary symbol from any transmitted sequence can be reliably reconstructed by DD from received channel symbol at the output of the LTI system at given playback quality; $1(t)$ – Heaviside step function; $\vartheta_r = \sum_{q=1}^{r-1} 2\theta_q + \varphi_{cs}$;

ω_0 – the carrier frequency of the PSK-n signal equal to the average frequency of the tuned LTI system; φ_0 – constant phase shift at the frequency ω_0 introduced by tuned LTI system; $2\theta_r = \psi\left((r-1)t_{res}\right) - \psi\left((r-2)t_{res}\right)$ – phase jump caused by the transmission of r-th radio pulse where $\psi\left((r-1)t_{res}\right) = 2\theta_r + \vartheta_r$ and $\psi\left((r-2)t_{res}\right) = 2\theta_{r-1} + \vartheta_{r-1}$ – initial phases of rth and $(r-1)^{th}$ radio pulses of PSK-n signal at the output of transmitter; $\psi\left((r-2)t_{res}\right) = \varphi_{cs}$ if $r = 1$ because we assume that before the start of transmission, until the moment $t = 0$, LTI system is in a steady state and harmonic oscillation $\exp\left(j\left(\omega_0 t + \varphi_{cs} - \varphi_0\right)\right)$ acts on its input.

For considered case the resolution time t_{res} must correspond to the minimum time when the following condition is true

$$\alpha_{pm} \geq \alpha_{ms}\left(rt_{res}\right) = \left|\psi_{ms}\left(rt_{res}\right) - \psi\left((r-1)t_{res}\right)\right|. \quad (3)$$

Here α_{pm} – the permissible phase settling error at the output of LTI system, which is related to the fiducial permissible settling error by the relation $\alpha_0 = \alpha_{pm} / \Delta\varphi_{st}$; $\alpha_{ms}\left(rt_{res}\right)$ – measured settling phase error at the output of LTI system for the rth radio pulse when it ends; $\psi_{ms}\left(rt_{res}\right)$ – the measured value of slowly varying phase of the rth radio pulse at the output of LTI system obtained by a receiver at moments rt_{res}.

In this case PSK-n signal at the output of a LTI system starting from the time $t = 0$ according to the superposition principle and results of [9] can be represented in the form

$$\dot{s}_{out}(t) = \dot{Z}(t)\exp(j\omega_0 t) = \dot{k}(j\omega_0)\exp\left(j\left(\omega_0 t - \varphi_0\right)\right)\times$$
$$\times\left[\sum_{r=1}^{l}\lambda_r \exp\left(j\left(\xi_r - \theta_r\right)\right) + \lambda_l^{'}\exp\left(j\left(\xi_l + \theta_l\right)\right)\right] = \quad , \quad (4)$$
$$= \exp(j\omega_0 t)\left[\exp\left(j\left(-\theta_1 + \xi_1\right)\right) + \sum_{r=1}^{l} 1\left(t-(r-1)t_{res}\right)B_0\left(t-(r-1)t_{res}\right)\times\right.$$
$$\left.\times\left[\exp\left(j\left(\theta_r + \xi_r\right)\right) - \exp\left(j\left(-\theta_r + \xi_r\right)\right)\right]\right].$$

where $\lambda_r = \left(1 - B_0(t)\right)$ if $r = 1$;

$\lambda_r = 1\left(t-(r-2)t_{res}\right)B_0\left(t-(r-2)t_{res}\right) - 1\left(t-(r-1)t_{res}\right)B_0\left(t-(r-1)t_{res}\right)$ if $r = \overline{2,l}$ and $\lambda_l^{'} = 1\left(t-(l-1)t_{res}\right)B_0\left(t-(l-1)t_{res}\right)$; $B_0(t)$ – settling function [9]; $\dot{Z}(t)$ – complex envelope of the transient process caused by the passage of the PSK-n signal through LTI system; $\dot{k}(j\omega_0) = k(j\omega_0)\exp(j\varphi_0)$ – complex transmission coefficient of a tuned LTI system, where we assume $k(j\omega_0) = 1$;

$$\xi_r = \sum_{q=1}^{r-1} 2\theta_q + \theta_r + \varphi_{cs}. \quad (5)$$

The signal at the output of the receiver, based on equation (4), is defined as

$$\psi_{ms}(t) = \arg\dot{Z}(t) = \arg\left\{\sum_{r=1}^{l}\lambda_r \exp\left(j\left(\xi_r - \theta_r\right)\right) + \lambda_l^{'}\exp\left(j\left(\xi_l + \theta_l\right)\right)\right\}. \quad (6)$$

The recovery of the primary signal is made by DD based on the decision rule

$$\psi_{rec}\left(rt_{res}\right) = \psi_k\big|_{k=k'}, \quad (7)$$

where $k' \in \overline{1,n}: f(k',r) = \min\limits_{k\in\overline{1,n}}\left|\psi_{ms}\left(rt_{res}\right) - \psi_k\right| \leq \alpha_{pm}$;

$\alpha_{pm} < 0.5\Delta\varphi_{st}$. The last of these conditions is necessary to ensure the uniqueness of the DD solution and it is obvious that in the absence of noise $\alpha_{pm} \to 0.5\Delta\varphi_{st}$.

Analyzing results of [10] we can conclude that for considered channel capacity determination may be formulated as the maximum information transmission rate on the communication channel with equivocation produced by ISI where maximum is taken over all possible sources of information used as input to the channel.

In this case, equivocation produced by ISI is easy to consider using resolution time in the following equation form for capacity channel estimation

$$C_{ISI_{ph.d}} = \frac{1}{t_{res}}\log_2 n, \quad (8)$$

where the second multiplier in equation is maximum entropy of source and t_{res} is taken at the condition $\alpha_{pm} \to 0.5\Delta\varphi_{st}$.

Thus, it is necessary to determine the resolution time t_{res} of LTI system to estimate the capacity of considered channel, which requires an analysis of the occurring transient process caused by the PSK-n signals transmission.

II. Problem solution

According to [9], the settling function for a resonant filter is defined by following expression

$$B_0(t) = \begin{cases} 1 - \exp(-\Delta\Omega t) & at \quad t \geqslant 0; \\ 0 & at \quad t < 0. \end{cases} \quad (9)$$

And the following properties are true

$$\left.\begin{aligned} B_0(t+T) - B_0(t) &= B_0(T)\left(1 - B_0(t)\right) \\ 1 - B_0(t+T) &= \left(1 - B_0(t)\right)\left(1 - B_0(T)\right) \end{aligned}\right\}, \quad (10)$$

where $T = const$; $T \geqslant 0$.

We transform (4) taking account of (10), for this we first consider the transmission of the second and third radio pulses through the considered LTI system. We introduce the following substitutions $M_d = \left|\dot{Z}\left(dt_{res}\right)\right|$, $\alpha_d = \arg\dot{Z}\left(dt_{res}\right) - \left(2\theta_d + \vartheta_d\right)$, which are the values of the envelope and the phase settling error of the slowly varying phase of the PSK-*n* signal at the output of considered LTI system at the end of the *d*-th radio pulse $\left(d = \overline{1,l}\right)$ transmission. In this case $M_0 = 1; \alpha_0 = 0$.

So at the time $t = t_{res} + t'$, where $t' \in [0; t_{res}]$ in the transmission of the second radio pulse, (4) taking into account (5) and (10) takes the form

$$\dot{Z}\left(t' + t_{res}\right) = \left(1 - B_0(t')\right)M_1\exp\left(j\left(-\theta_2 + \xi_2 + \alpha_1\right)\right) +$$
$$+ B_0(t')\exp\left(j\left(\xi_2 + \theta_2\right)\right). \quad (11)$$

The equation (4) for the transmission of the third radio pulse can also be simplified by considering at the time $t = 2t_{res} + t^*$, where $t^* \in [0; t_{res}]$. We simplify it using properties (10) for the considered LTI system, equation (5) and the following substitutions for $d = 2$

$$\left.\begin{aligned} \theta_d^{'} &= \theta_d - 0.5\alpha_{d-1} \\ \xi_d^{'} &= \xi_d + 0.5\alpha_{d-1} \end{aligned}\right\}, \quad (12)$$

and we assume $2t_{res}+t^{*}=t_{res}+t'$. As a result, (4) according to [11] takes the form

$$\begin{aligned}\dot{Z}\left(t^{*}+2t_{res}\right)&=\left(1-B_0\left(t^{*}\right)\right)\left[\left(1-B_0\left(t_{res}\right)\right)M_1\exp\left(j\left(-\theta_2^{'}+\xi_2^{'}\right)\right)+\right.\\&\left.+B_0\left(t_{res}\right)\exp\left(j\left(\xi_2^{'}+\theta_2^{'}\right)\right)\right]+B_0\left(t^{*}\right)\exp\left(j\left(\xi_3+\theta_3\right)\right)=\\&=\left(1-B_0\left(t^{*}\right)\right)M_2\exp\left(j\left(-\theta_3+\xi_3+\alpha_2\right)\right)+\\&+B_0\left(t^{*}\right)\exp\left(j\left(\xi_3+\theta_3\right)\right).\end{aligned}\tag{13}$$

Analyzing expressions (11) and (13), we conclude that (4) for considered LTI system can be represented as

$$\begin{aligned}\dot{Z}(t)=\sum_{r=1}^{l}\left[\left(1\left(t-(r-1)t_{res}\right)-1\left(t-rt_{res}\right)\right)\left[\left(1-B_0\left(t-(r-1)t_{res}\right)\right)\times\right.\right.\\\times M_{r-1}\exp\left(j\left(\xi_r-\theta_r+\alpha_{r-1}\right)\right)+B_0\left(t-(r-1)t_{res}\right)\times\\\left.\left.\times\exp\left(j\left(\xi_r+\theta_r\right)\right)\right]\right].\end{aligned}\tag{14}$$

where $M_{r-1}\leqslant 1$, $r=\overline{1,l}$ follows from an analysis of the results of [11]; $M_{r-1}=1$, when $\alpha_{r-1}=0$.

It follows from (14) that the PSK-*n* signal at the output of the considered LTI system is a sequence of transient processes, and each of them can be one of two types: the first type is caused by the phase jump in the harmonic oscillation when $M_{r-1}=1$, $\alpha_{r-1}=0$ *if* $r=\overline{1,l}$, and the second type is caused by a simultaneous jump in the amplitude and phase when $M_{r-1}<1$, $\alpha_{r-1}\neq 0$ *if* $r=\overline{2,l}$.

Thus, to determine t_{res}, it is necessary to establish the type of the transient process with the greatest settling time for a given permissible phase settling error. The determination of the type is made based on a comparison of the values of the settling function at these moments. This is because (9) increases monotonically with increasing time. In this case, we are primarily interested in the dynamic component of the transient process, so we use equivalent values of phase jumps for the PSK-*n* signals

$$2\theta_{g.eq}=\begin{cases}\left(g-0.5n-1\right)\Delta\varphi_{st}, & g=\overline{1,n+1}\ \ if\ \ n=2z;\ z\in\mathbb{N};\\ \left(g-\|0.5n\|\right)\Delta\varphi_{st}, & g=\overline{1,n};\ \ if\ \ n=2z+1, z\in\mathbb{N};\end{cases}\tag{15}$$

that are obtained by transformation

$$2\theta_{eq}=\begin{cases}-2\pi+2\hat{\theta} & \text{if}\ \ 2\hat{\theta}\in(\pi;2\pi);\\ +2\pi+2\hat{\theta} & \text{if}\ \ 2\hat{\theta}\in(-\pi;-2\pi).\end{cases}\tag{16}$$

where $2\hat{\theta}$ – original values of phase jumps.

Let us find equations for both types of transient processes that will allow to estimate the settling time. Thus, the equation allowing to estimate the settling time t_{set} (based on the value $B_0\left(t_{set}\right)$) under given permissible phase settling error for the first type of a transient process is obtained from (14), for this we take $l=2$, $t=t_{set}\in[0;t_{res}]$, $\dot{Z}\left(t_{set}\right)=M_1\exp\left(j\left(\xi_1+\theta_1+\alpha_{pm}^{'}\right)\right)$, $2\theta_2=0$ and after a series of simplest transformations we obtain the following equation

$$tg\left(\theta_1+\alpha_{pm}^{'}\right)=-\left(1-2B_0\left(t_{set}\right)\right)tg\theta_1.\tag{17}$$

Here $\alpha_{pm}^{'}=\pm\alpha_{pm}$, where "+" for $2\theta_1\in(-\pi;0)$ and "-" for $2\theta_1\in(0;\pi]$ that follows from the results of [11].

Transforming (17) according to $B_0\left(t_{set}\right)$, we obtain

$$B_0\left(t_{set}\right)=\frac{\sin\left(2\theta_1+\alpha_{pm}^{'}\right)}{\sin\left(2\theta_1+\alpha_{pm}^{'}\right)-\sin\alpha_{pm}^{'}}.\tag{18}$$

From the foregoing it follows that (18) has the parity property. Therefore, we will consider only the case when $2\theta_1\in(0;\pi]$. We make a substitution $2\theta_1$ for a variable $2\hat{\theta}\in\left(\left|\alpha_{pm}^{'}\right|;\pi\right]$ that takes continuous values, where $\alpha_{pm}^{'}\in\left(-2\hat{\theta};0\right)$.

Optimum analysis of (18) based on the solution $\frac{dB_0\left(t_{opt}\right)}{d2\hat{\theta}}=0$ shows that the extremum is achieved when

$$2\hat{\theta}_{opt}=\frac{\pi}{2}+\left|\alpha_{pm}^{'}\right|,\ \left|\alpha_{pm}^{'}\right|\in\left(0;\frac{\pi}{2}\right),\tag{19}$$

and (18) takes the value

$$B_0\left(t_{opt}\right)=\frac{1}{1+\sin\left|\alpha_{pm}^{'}\right|}=\frac{1}{2}\left(1+tg^2\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\left|\alpha_{pm}^{'}\right|}{2}\right)\right).\tag{20}$$

Taking into account that for limit values of the phase jump $2\hat{\theta}=\pi$ and $2\hat{\theta}\to\left|\alpha_{pm}^{'}\right|$ equation (18) takes the values

$$B_0\left(t_{set}\right)\Big|_{2\hat{\theta}=\pi}=\frac{1}{2};\ B_0\left(t_{set}\right)\Big|_{2\hat{\theta}\to\left|\alpha_{pm}^{'}\right|}=0,\tag{21}$$

then it follows from a comparison of (20) and (21) that the equation (18) reaches its maximum at (19).

Under constraints $\left|2\hat{\theta}\right|\in\left(2\left|\alpha_{pm}^{'}\right|;\pi\right)$; $\left|\alpha_{pm}^{'}\right|\in\left(0;\frac{\pi}{2}\right)$; $\left|\alpha_{pm}^{'}\right|<\left|2\hat{\theta}\right|$ the equation (18) is symmetric relatively (19). This can be proved by transforming (18) taking into account the substitution $2\theta_1$ to $2\hat{\theta}$ as $2\hat{\theta}=2\hat{\theta}_{t_{opt}}\pm\Delta 2\theta$, where $\Delta 2\theta>0$, as a result, we get

$$B_0\left(t_{set}\right)=\frac{\cos\left(\Delta 2\theta\right)}{\cos\left(\Delta 2\theta\right)+\sin\left|\alpha_{pm}^{'}\right|}.\tag{22}$$

At the same time $B_0\left(t_{set}\right)\big|_{2\hat{\theta}=2\left|\alpha_{pm}^{'}\right|}=B_0\left(t_{set}\right)\big|_{2\hat{\theta}=\pi}=0.5$. Equation (22) and the results obtained above imply the symmetry of (18) under the specified restrictions.

The equation allowing to estimate the settling time $t_{set}^{'}$ (based on the value $B_0\left(t_{set}^{'}\right)$) under a given permissible phase settling error for the second type of transient process will be obtained by considering the PSK-*n* signal at the output of considered LTI system during the time $t\in\left[(p-1)t_{res};pt_{res}\right]$ in the *p*-th $\left(p=\overline{2,l}\right)$ radio pulse transmission.

In this case, (14) is represented in the following form, assuming that $t=(p-1)t_{res}+t_{set}^{'}$, $t_{set}^{'}\in[0;t_{res}]$.

$$\begin{aligned}\dot{Z}\left((p-1)t_{res}+t_{set}^{'}\right)&=\left(1\left(t_{set}^{'}\right)-1\left(t_{set}^{'}-t_{res}\right)\right)\left[\left(1-B_0\left(t_{set}^{'}\right)\right)\times\right.\\&\left.\times M_{p-1}\exp\left(j\left(\xi_p-\theta_p+\alpha_{p-1}\right)\right)+B_0\left(t_{set}^{'}\right)\exp\left(j\left(\xi_p+\theta_p\right)\right)\right]+\\&+\left(1\left(t_{set}^{'}-t_{res}\right)-1\left(t_{set}^{'}-2t_{res}\right)\right)\left[\left(1-B_0\left(t_{set}^{'}-t_{res}\right)\right)M_p\times\right.\\&\left.\times\exp\left(j\left(\xi_{p+1}-\theta_{p+1}+\alpha_p\right)\right)+B_0\left(t_{set}^{'}-t_{res}\right)\times\right.\\&\left.\times\exp\left(j\left(\xi_{p+1}+\theta_{p+1}\right)\right)\right].\end{aligned}\tag{23}$$

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:07 Page 69

We transform (23) taking into account that $B_0(t)=0$, when $t<0$ and using the substitutions (12) where $d=p$, $\dot{Z}\left((p-1)t_{res}+t_{set}^{'}\right)=M_p\exp\left(j\left(\xi_p+\theta_p+\alpha_{pm}^{'}\right)\right)$, here $\alpha_{pm}^{'}=\pm\alpha_{pm}$, where "+" for $2\theta_p\in(-\pi;0)$ and "-" for $2\theta_p\in(0;\pi]$ that follows from the results of [11]. As a result, we obtain

$$tg\left(\theta_p^{'}+\alpha_{pm}^{'}\right)=\frac{B_0\left(t_{set}^{'}\right)\sin\theta_p^{'}-M_{p-1}\left(1-B_0\left(t_{set}^{'}\right)\right)\sin\theta_p^{'}}{B_0\left(t_{set}^{'}\right)\cos\theta_p^{'}+M_{p-1}\left(1-B_0\left(t_{set}^{'}\right)\right)\cos\theta_p^{'}}, \quad (24)$$

where $2\theta_p^{'}$ is the effective phase jump due to the transmission of the p-th radio pulse.

We transform the last equation with respect to $B_0\left(t_{set}^{'}\right)$ and obtain

$$B_0\left(t_{set}^{'}\right)=\frac{M_{p-1}\sin\left(2\theta_p^{'}+\alpha_{pm}^{'}\right)}{-\sin\alpha_{pm}^{'}+M_{p-1}\sin\left(2\theta_p^{'}+\alpha_{pm}^{'}\right)}, \quad (25)$$

where $\left|\alpha_{p-1}\right|\leqslant\alpha_{pm}$ as follows from the problem statement in the definition $t_{set}^{'}$; $\left|2\theta_p^{'}\right|>\alpha_{pm}$ – this can be seen from the analysis of (25), since if this condition is violated, it takes negative values, which means that time is not required to establish a given value of the phase jump under a given permissible phase settling error. From the foregoing, it follows that (25) has the parity property.

Let us analyze (25) in the same way as it was done with (18). Taking the parity property into account, we can do this only when $2\theta_p^{'}\in(0;\pi]$.

Optimum analysis of (25) based on the solution $\frac{dB_0\left(t_{opt}^{'}\right)}{d2\theta_p^{'}}=0$ shows that the extremum is achieved when

$$2\theta_{p_{t_{opt}}}^{'}=\frac{\pi}{2}+\left|\alpha_{pm}^{'}\right|,\left|\alpha_{pm}^{'}\right|\in\left(0;\frac{\pi}{2}\right), \quad (26)$$

and (25) takes the value

$$B_0\left(t_{opt}^{'}\right)=\frac{M_{p-1}}{\sin\left|\alpha_{pm}^{'}\right|+M_{p-1}}. \quad (27)$$

Taking into account that for limit values of the phase jump $2\theta_p^{'}=\pi$ and $2\theta_p^{'}\to\left|\alpha_{pm}^{'}\right|$ (25) takes values

$$B_0\left(t_{set}^{'}\right)\Big|_{2\theta_p^{'}=\pi}=\frac{M_{p-1}}{1+M_{p-1}};\ B_0\left(t_{set}^{'}\right)\Big|_{2\theta_p^{'}\to\left|\alpha_{pm}^{'}\right|}=0, \quad (28)$$

then it follows from a comparison of (27) and (28) that the equation (25) reaches its maximum at (26).

We proceed directly to the problem of determining the type of the transient process with the longest settling time for a given permissible phase settling error. We compare $B_0\left(t_{opt}\right)$ and $B_0\left(t_{opt}^{'}\right)$ by solving the inequality $B_0\left(t_{opt}\right)>B_0\left(t_{opt}^{'}\right)$ according to M_{p-1} using (20) and (27). After a number of simplest transformations, inequality and its solution take the form

$$\frac{\sin\left|\alpha_{pm}^{'}\right|\left(1-M_{p-1}\right)}{\left(\sin\left|\alpha_{pm}^{'}\right|+1\right)\left(\sin\left|\alpha_{pm}^{'}\right|+M_{p-1}\right)}>0\Leftrightarrow M_{p-1}\in[0;1). \quad (29)$$

On the basis of (14), the solution (29) and the restrictions used for (27) and (20), taking into account the symmetry properties for (18) and (25), we conclude that the inequality $B_0\left(t_{opt}\right)>B_0\left(t_{opt}^{'}\right)$ is always satisfied when $M_{p-1}\in[0;1)$ and goes to the equality when $M_{p-1}=1$ and α_{p-1} will be zero. That is, the longest settling time of the first type transient process is the limit case of the longest settling time of the second type transient process when the solution is sought among the continuous values of phase jumps.

The above results were obtained for continuous values of phase jumps, however, in determining t_{res} by the first type of the transient process, it should be taken into account that phase jumps $2\theta_1$ take discrete values. Hence, this affects the determination of the longest settling time. While for the second type of transient process, the effective phase jumps take continuous values. In this connection, the following question arises – whether it will be fair to choose the first type of transient process in determining the resolution time in the case of discrete values of phase jumps.

To answer this question, it is necessary to compare (18) and (25) for continuous values of phase jumps $2\hat{\theta}=2\theta_p=2\theta$ under the following restrictions

$$\left.\begin{array}{c}2\theta\in(0;\pi);\ 2\theta_p^{'}\in(0;\pi);\\ 2\theta-\left|\alpha_{pm}^{'}\right|\in(0;\pi);\ 2\theta_p^{'}-\left|\alpha_{pm}^{'}\right|\in(0;\pi);\\ -\frac{\pi}{2}<\alpha_{pm}^{'}<0;\end{array}\right\} \quad (30)$$

using inequality

$$B_0\left(t_{set}^{'}\right)-B_0\left(t_{set}\right)>0. \quad (31)$$

If this inequality has a solution under these constraints, then this it has be taken into account when determining the resolution time. In this case, it is necessary to determine a combination of the effective phase jump, the envelope and the permissible phase settling error when the settling time of the second type transient process is the greatest. Then it is necessary to compare it with the longest settling time of the first type transient process with discrete values of phase jumps and a given value of the permissible phase settling error. In the absence of a solution of this inequality, the resolution time is determined from an analysis of the first type transient process for discrete values of phase jumps.

We obtain the solution of (31) with respect to M_{p-1} by the simplest transformations

$$M_{p-1}>\frac{\sin\left(2\theta-\left|\alpha_{pm}^{'}\right|\right)}{\sin\left(2\theta_p^{'}-\left|\alpha_{pm}^{'}\right|\right)}. \quad (32)$$

The solution of (32) is represented as

$$M_{p-1}=A\frac{\sin\left(2\theta-\left|\alpha_{pm}^{'}\right|\right)}{\sin\left(2\theta_r^{'}-\left|\alpha_{pm}^{'}\right|\right)}, \quad (33)$$

where $A>1$ is a dimensionless coefficient.

We substitute (33) into (25), taking into account the constraints (30), as a result we obtain the equivalent value of the settling function $B_{0_{eq}}\left(t_{set}^{'}\right)$

$$B_{0_{eq}}\left(t_{set}^{'}\right)=\frac{A\sin\left(2\theta-\left|\alpha_{pm}^{'}\right|\right)}{\sin\left|\alpha_{pm}^{'}\right|+A\sin\left(2\theta-\left|\alpha_{pm}^{'}\right|\right)}. \quad (34)$$

From the analysis of (34), since it is similar to (25), it follows that this dependence has the parity property and reaches its maximum value when the phase jump is determined according to

(26) when $2\theta'_{p_{t_{opt}}}$ is replaced by $2\theta_{t_{\max}}$. Then the greatest value $B_{0_{eq}}(t_{\max})$ of (34) is

$$B_{0_{eq}}(t_{\max}) = \frac{A}{\sin|\alpha'_{\max}| + A} \quad \text{if} \quad |\alpha'_{\max}| \in \left(0; \frac{\pi}{2}\right). \tag{35}$$

As was shown above, the relation $B_0(t_{opt}) > B_0(t'_{opt})$ is satisfied under the constraints used for (27) and (20), it is obvious that it is also satisfied under constraints (30). Therefore, the relation $B_0(t_{opt}) > B_{0_{eq}}(t_{\max})$ must also be satisfied, and by substituting (20) and (35) it takes the form

$$\frac{1}{\sin|\alpha'_{pm}| + 1} - \frac{A}{\sin|\alpha'_{pm}| + A} > 0.$$

Solving it according to A, we obtain

$$1 > A > 0. \tag{36}$$

The solution (36) contradicts the initial condition (33) imposed in the solution of this problem, and (31) is not satisfied. Consequently, (18) when replacing $2\theta_1$ with the variable 2θ taking continuous values in accordance with constraints (30) is the envelope of the dependencies (25) family under constraints (30). Thus, the determination of the resolution time for the case of discrete values of phase jumps should be made according to the first type of the transient process, that is, on the basis of analysis (18) and taking into account only those constraints from (30) where there is 2θ, while replacing 2θ by the variable $2\theta_1$, which takes discrete values.

This conclusion also extends to the following restrictions

$$\left.\begin{array}{c} 2\theta \in (-\pi;0);\ 2\theta'_p \in (-\pi;0); \\ 2\theta + |\alpha'_{pm}| \in (-\pi;0);\ 2\theta'_p + |\alpha'_{pm}| \in (-\pi;0); \\ 0 < \alpha'_{pm} < \frac{\pi}{2}; \end{array}\right\}; \tag{37}$$

$$\left.\begin{array}{c} 2\theta \in (\pi;2\pi);\ 2\theta'_p \in (\pi;2\pi); \\ 2\theta - |\alpha'_{pm}| \in (\pi;2\pi);\ 2\theta'_p - |\alpha'_{pm}| \in (\pi;2\pi); \\ -\frac{\pi}{2} < \alpha'_{pm} < 0; \end{array}\right\}; \tag{38}$$

$$\left.\begin{array}{c} 2\theta \in (-2\pi;-\pi);\ 2\theta'_p \in (-2\pi;-\pi); \\ 2\theta + |\alpha'_{pm}| \in (-2\pi;-\pi);\ 2\theta'_p + |\alpha'_{pm}| \in (-2\pi;-\pi); \\ 0 < \alpha'_{pm} < \frac{\pi}{2}; \end{array}\right\}; \tag{39}$$

where the above conclusion for (37) is due to the parity property of (18) and (25), and for (38) and (39) by applying transformation (16) resulting its reducing to (37) and (30) respectively.

Let us consider in addition a number of special cases, which can also arise in the transmission of the p-th radio pulse. The first of them arises when a binary phase-shift keyed signal (n = 2) affects on the considered LTI system, and the jumps in phase are only to π and the permissible phase settling error $\alpha_{pm} = 0$ as follows from (14) and the results of [11].

In addition, it follows that the resolution time must be determined on the basis of the longest settling time of the first type transient process for discrete jump values.

We estimate the resolution time for this particular case from the value of the settling function using (18) and assuming $2\theta_1 = \pi$, $\alpha'_{pm} = 0$. In this case, (18) is

$$B_0(t_{res}) = \lim_{\alpha'_{pm} \to 0} \frac{\sin\left(\pi - |\alpha'_{pm}|\right)}{\sin\left(\pi - |\alpha'_{pm}|\right) + \sin|\alpha'_{pm}|} = \lim_{\alpha_{pm} \to 0} \frac{\sin\alpha_{pm}}{2\sin\alpha_{pm}}.$$

Since in the last equation the ratio represents the uncertainty (0/0), then, applying the L'Hospital rule, we obtain

$$B_0(t_{res}) = \lim_{\alpha_{pm} \to 0} \frac{\cos\alpha_{pm}}{2\cos\alpha_{pm}} = 0.5. \tag{40}$$

The second special case occurs when $2\theta'_p = \pm\pi$. We consider only for $2\theta'_p = \pi$ due to the parity property of (18) and (25). The phase jump $2\theta'_p = \pi$ satisfies the inequality $|\alpha_{p-1}| \leqslant \alpha_{pm}$, since this jump is possible with two options: 1) $2\theta'_p = 2\theta_p = \pi$ (considered above in the 1st special case); 2) $2\theta'_p = 2\theta_p - \alpha_{p-1} = \pi$ when $\alpha_{p-1} \neq 0$ that is possible only if any of the restrictions (30), (37) – (39) is satisfied for $2\theta'_{p-1}$ and α_{p-1}.

We estimate the limiting permissible phase settling error $\alpha_{pm.\lim}$ for the second of the enumerated realization options of this special case when (31) has no solution, then the resolution time is determined from the analysis of the first type of transient process. Due to the parity property of (18), (25) and the transformation (16), we estimate the limiting permissible phase settling error when $2\theta'_p = 2\theta_p + |\alpha_{p-1}| = \pi$, $\alpha_{p-1} < 0$.

Since the relation $|2\hat{\theta}| \in [2|\alpha'_{pm}|; \pi]$, $|\alpha'_{pm}| \neq 0$ is satisfied when $B_0(t_{set}) \geqslant 0.5$, and $2\theta'_p = \pi$ is true when $B_0(t'_{set}) < 0.5$ that follows from (28) analysis, we can formulate the following relation assuming $2\theta_p = 2\hat{\theta} = 2|\alpha'_{pm}| = 2\alpha_{pm.lim}$

$$2\alpha_{pm.lim} = \pi - |\alpha_{p-1}|. \tag{41}$$

where $|\alpha_{p-1}| \leqslant \alpha_{pm.lim}$, which follows from the results obtained above.

Obviously, the least value $\alpha_{pm.lim}$ is the case when $|\alpha_{p-1}| = \alpha_{pm.lim}$, then $\alpha_{pm.lim} = \frac{\pi}{3}$. Since $\alpha_{pm} < 0.5\Delta\varphi_{st}$ and the simplest PSK-n signal is the signal with n = 3, the corresponding resolution time is determined by the first type of transient process for all PSK-n signals.

The third special case arises when 1) $2\theta_p = \pi$ and $\alpha_{p-1} > 0$ or $2\theta_p = -\pi$ and $\alpha_{p-1} < 0$; 2) $2\theta_p = \pi$ and $\alpha_{p-1} < 0$ or $2\theta_p = -\pi$ and $\alpha_{p-1} > 0$ where $|\alpha_{p-1}| \leqslant \alpha_{pm}$. For the first condition, the analysis results are similar to those obtained under the constraints (30) and (37).

For the second condition, since (18) and (25) are even, we make an analysis when $2\theta'_p = \pi + |\alpha_{p-1}|$. As before, we use inequality (31) in the analysis to determine the type of transient process used to estimate the resolution time. We transform the initial value of the considered phase jump $2\theta'_p$ by (16) to the equivalent value $2\theta'_{p_{eq}} = -2\pi + 2\theta'_p = -\pi + |\alpha_{p-1}|$. As a result, the inequality after the simplest transformations and taking into ac-

count $2\hat{\theta}=\pi$ takes the form

$$\frac{M_{p-1}\sin\left(\left|2\theta'_{p_{eq}}\right|-\alpha_{pm}\right)}{\sin\alpha_{pm}+M_{p-1}\sin\left(\left|2\theta'_{p_{eq}}\right|-\alpha_{pm}\right)}-\frac{\sin\left(2\hat{\theta}-\alpha_{pm}\right)}{\sin\alpha_{pm}+\sin\left(2\hat{\theta}-\alpha_{pm}\right)}>0, \quad (42)$$

where $\left|2\theta'_{p_{eq}}\right|-\alpha_{pm}\in(0;\pi)$, $2\hat{\theta}-\alpha_{pm}\in(0;\pi)$.

Its solution has the form

$$M_{p-1}=F\frac{\sin\left(2\hat{\theta}-\alpha_{pm}\right)}{\sin\left(\left|2\theta'_{p_{eq}}\right|-\alpha_{pm}\right)}, \quad (43)$$

where $F>1$ is the dimensionless coefficient.

Substituting (43) into (25) taking into account the equivalent value of the phase jump used in considering this condition leads the first term in (42) to the form of (34) performed earlier in this paper. Based on this it can be concluded that (42) has no solution, and therefore for the second considered condition of this particular case, the resolution time is determined from the first type transient process analysis.

The fourth special case arises when $2\theta_p=0$ and $2\theta'_p=0$. When $2\theta_p=0$ the phase jump of the signal at the input of the considered LTI system is absent, as a result, the process of establishment from transmission of the previous radio pulse continues, and at the end of the p-th radio pulse transmission the measured error does not exceed the permissible phase settling error due to the above results. At $2\theta'_p=0$ the process of establishment ends right in the moment of start of radio pulse. Thus, this case also does not affect on resolution time definition as compared to results obtained before.

Based on above, we conclude that the resolution time is determined for the considered LTI system by the first type transient process and the permissible phase settling error must satisfy the condition

$$0.5\Delta\varphi_{st}>\alpha_{pm}. \quad (44)$$

Let us consider additional restrictions connected with the features of the considered transient process in LTI system. Thus, from the analysis of (14) it follows that when

$$\left|\psi_{ms}\left(rt_{res}\right)-\psi\left(rt_{res}\right)\right|\in(\pi;2\pi), \quad (45)$$

where $\psi\left(rt_{res}\right)$ – the value of the initial phase of the $(r+1)$-th radio pulse of the PSK-n signal at the output of the transmitter, stepwise change of the slowly varying phase of the signal at the output of LTI system will be observed.

This feature will be considered in more detail to determine the associated restrictions in the application of the results. In this case, the establishment of a slowly varying phase at the output of LTI system occurs in three stages, what follows from the analysis of (14). At the first stage, a slowly varying phase is established from $\psi_{ms}\left(rt_{res}\right)$ to $\pm\pi$ ("+" if $\psi_{ms}\left(rt_{res}\right)>0$ and "−" if $\psi_{ms}\left(rt_{res}\right)<0$), at the second there is a jump from $\pm\pi$ to $\mp\pi$. The third stage is its establishment from $\mp\pi$ to the value $\psi_{ms}\left((r+1)t_{res}\right)$. Therefore, the resolution time must provide the end of the second stage of establishment for correct operation of the DD. The smallest value α_{pm} providing the end of the second stage is called a critical error α_{crit}. Obviously, α_{crit} is defined as follows

$$\alpha_{crit}=\min_{k=\overline{1,n}}\left(\pi-\left|\psi_k\right|\right)<0.5\Delta\varphi_{st}. \quad (46)$$

The greater part of the change in the slowly varying phase at the output of LTI system corresponds to the first stage as compared to the third stage, the smaller value is taken by α_{pm}. Thus, this gives an additional upper limit on the choice of α_{pm} as

$$\alpha_{pm}<\alpha_{crit}. \quad (47)$$

It follows from (47) that the choice of the φ_{cs} directly affects the critical value of the permissible phase settling error α_{crit}. In the case when $\alpha_{crit}=0$ there is a constant error when receiving the PSK-n signal in dynamic mode. To avoid this, it is necessary to select φ_{cs} correctly when generating the PSK-n signal so for $n=2z$, $z\geqslant 2$, $\varphi_{cs}=0.5\Delta\varphi_{st}$ and for $n=2z+1$, $\varphi_{cs}=0$ where $z\in\mathbb{N}$.

On the basis of the obtained results, the problem of determining the resolution time reduces to determining the value of the phase jump from the set of positive values (15) that is least different from the value determined by (19).

The solution of this problem is

$$2\theta^*_{t_{res}}=\beta\Delta\varphi_{st}\in(0;\pi], \quad (48)$$

where $\beta\in\mathbb{N}$ is the desired parameter. In this case, the initial equation where the solution is should be found takes the form

$$\frac{2\theta^*_{i_{res}}}{2\hat{\theta}_{t_{opt}}}=\frac{\beta\Delta\varphi_{st}}{\frac{\pi}{2}+\alpha_{pm}}. \quad (49)$$

According to the problem statement, we equate the left side of the given equation to unity and transform it relatively to β using $\Delta\varphi_{st}=\frac{2\pi}{n}$. Applying the rounding operation to the result, we get

$$\beta=\left\|\frac{2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\alpha_{pm}}{2}\right)}{\frac{2\pi}{n}}\right\|=\left\|\frac{n}{4}+\alpha_0\right\|. \quad (50)$$

In this case, the value of the settling function at the resolution time based on (50), (48) and (18) is determined as

$$B_0\left(t_{res}\right)=\frac{\sin\left(\frac{2\pi}{n}\left(\left\|\frac{n}{4}+\alpha_0\right\|-\alpha_0\right)\right)}{\sin\left(\frac{2\pi}{n}\left(\left\|\frac{n}{4}+\alpha_0\right\|-\alpha_0\right)\right)+\sin\frac{2\pi}{n}\alpha_0}. \quad (51)$$

The resolution time for the considered LTI system under the PSK-n signal with (51) and (9) is

$$t_{res}=\frac{1}{\Delta\Omega}\ln\left(\frac{1}{1-B_0\left(t_{res}\right)}\right)=$$
$$=-\frac{1}{\Delta\Omega}\ln\left(\frac{\sin\frac{2\pi}{n}\alpha_0}{\sin\left(\frac{2\pi}{n}\left(\left\|\frac{n}{4}+\alpha_0\right\|-\alpha_0\right)\right)+\sin\frac{2\pi}{n}\alpha_0}\right). \quad (52)$$

When substituting (52) into (8), the equation defining the capacity for considered channel using the PSK-n signal takes the form

$$C_{ISI_{ph.d}} = \frac{\Delta\Omega}{-\ln\left(\frac{\sin\frac{2\pi}{n}\alpha_0}{\sin\left(\frac{2\pi}{n}\left(\left\|\frac{n}{4}+\alpha_0\right\|-\alpha_0\right)\right)+\sin\frac{2\pi}{n}\alpha_0}\right)}\log_2 n \quad (53)$$

The dependences of the specific capacity ($C_{sp} = C_{ISI_{ph.d}} / 2\Delta F$ [bits/(Hz*s)], where $2\Delta F = 2\Delta\Omega / 2\pi$) on the number of discrete states n under given value of the fiducial settling error was plotted using (53) (Fig. 2).

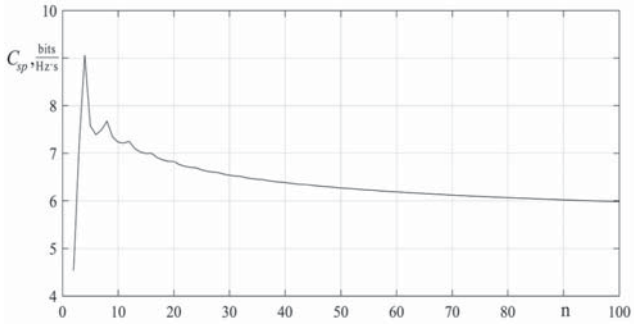


Fig. 2. Dependence of the specific capacity on the number of discrete states of the PSK-n signal for a channel with a LTI system with the frequency response of the resonance filter for given fiducial permissible settling error $\alpha_0 = 0.4999$

From the dependencies shown in Fig. 2, it follows that the capacity when PSK-n signals transmit through the considered channel with a limited bandwidth at values n less than 30 is complex with an explicit maximum. For large values of n the capacity is dropped.

We determine the capacity $C_\infty = \lim_{n\to\infty} C_{ISI_{ph.d}}$, applying the L'Hospital rule to (53) because it represents uncertainty (∞/∞) in this case. Due to $n \to \infty$, $\left\|\frac{n}{4}+\alpha_0\right\| \approx \frac{n}{4}$ after the simplest transformations of (53), we obtain

$$C_\infty = \frac{\Delta\Omega}{\ln 2}\lim_{n\to\infty}\frac{1}{\frac{2\pi}{n}\alpha_0}\left(\frac{1}{2}\sin\frac{4\pi}{n}\alpha_0+\sin^2\left(\frac{2\pi}{n}\alpha_0\right)\right). \quad (54)$$

We obtain the following applying the L'Hospital rule again to (54)

$$C_\infty = \frac{\Delta\Omega}{\ln 2}\lim_{n\to\infty}\frac{-\frac{2\pi}{n^2}\alpha_0}{-\frac{2\pi}{n^2}\alpha_0}\left(\cos\frac{4\pi}{n}\alpha_0+2\sin\frac{2\pi}{n}\alpha_0\right)=\frac{\Delta\Omega}{\ln 2}. \quad (55)$$

It follows from (55) that the capacity for the considered channel under the influence of the PSK-n signal with $n \to \infty$ is a quantity limited in the absence of noise.

III. Conclusions

The capacity when PSK-n signals transmit through the considered channel with a limited bandwidth at values n less than 30 is complex with an explicit maximum. For large values of n the capacity is dropped. Capacity of considered channel is defined by equation (55) when the number discrete states tends to infinity

References

1. Mordvinov, A.E. (2008). *Possibility of increasing the frequency efficiency of communication lines due to the use of signals with mutual interference of symbols: dissertation* [*Issledovanie vozmozhnosti povysheniia chastotnoi effektivnosti linii sviazi za schet ispol'zovaniia signalov s vzaimnoi interferentsiei simvolov: dis. ... kand. tech. nauk*], Moscow, MEI (TU), 150 p.

2. Proakis, J.G. (2000). *Digital Communications*, 4th ed., McGraw-Hill, N.Y., 928 p.

3. Qureshi, S., Newhall E. (1973). Adaptive Receiver for Data Transmission over Time-dispersive Channels. *IEEE Trans*, No. 3, pp. 448-457.

4. Falconer, D.D., Magee, F.R. (1973). Adaptive Channel Memory Truncation for Maximum Likelihood Sequence Estimation". *BSTJ*, No. 9, pp. 1541-1562.

5. Clark, A.P., Harvey, J.D., Driscoll, J.P. (1978). Nearmaximum Likelihood Detection Process for Distored Digital Signals. *The Radio and Electronic Engineer*. No.6, pp.301-309.

6. Clark, A.P., Najdi, N.Y., Fairfield, F.J. (1983). Data transmission at 19.2 kbits/s over telephone circuits. *The Radio and Electronic Engineer*, No. 4, pp.157-166.

7. Vachula, G.M., Hill, F.S. (1981). On Optimal Detection of Band-limited PAM Signals with Excess Bandwith. *IEEE Trans*, No.6, pp.886-890.

8. Weselowski, K. (1987). An Efficient DFE ML Suboptimal Receiver for Data Transmission Over Dispersive Channels using Two-Dimensional Signal Constellation. *IEEE Trans*, No. 3, pp.336-339.

9. Evtyanov, S.I. (1948). *Transient processes in the receiver-amplifier circuits* [*Perehodnye processy v priemno-usilitel'nyh shemah*] Svjaz'izdat, Moscow. 221 p.

10. Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell Syst. Tech. J.*, No. 3, pp. 379-423.

11. Lerner, I.M, Il'in, G.I. (2012). The Analysis of the Transient Process Caused by a Jump in the Amplitude and Phase of Radio Pulse at the Input of Narrowband Linear System. *Journal of Communications Technology and Electronics*, No.2, pp. 174-188.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:08 Page 73

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛА СВЯЗИ С ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ РЕЗОНАНСНОГО ФИЛЬТРА ПРИ НАЛИЧИИ МЕЖСИМВОЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ МНОГОПОЗИЦИОННОГО ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА

Лернер Илья Михайлович, *Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, Россия,* ***aviap@mail.ru***

Аннотация

Объем передаваемой информации возрастает экспоненциально из года в год, что является тенденцией современного общества. Это приводит к необходимости увеличения скорости передачи данных систем передачи информации. Наиболее выражено это среди радиотехнических систем передачи информации, которые в настоящее время работают в условиях ограниченных частотных ресурсов и постоянно увеличивающихся требований их эффективного использования. Одним из наиболее эффективных подходов к решению этой проблемы является переход к передаче информации при наличии межсимвольных помех в радиотехнических системах передачи информации. Несмотря на привлекательность этого подхода, его техническая реализация связана с рядом трудностей, которые могут привести к увеличению сложности самого приемника при увеличении числа интерферирующих символов. В конечном итоге возникает вопрос не только о целесообразности реализации, но и о его практической осуществимости самого приёмника. Поскольку увеличение алфавита символов канала приводит к необходимости увеличения отношения сигнал/шум для достижения заданного качества приема сигнала, целесообразно рассмотреть возможность использование алгоритмов приема на основе использования частотной фильтрации и последующее использование многопорогового решающего устройства в ситуации сильных межсимвольных искажений, вызванных избирательными системами в канале связи. Gроизведено определение пропускной такого канала связи с частотной характеристикой фильтра, соответствующей резонансному усилителю. Оценка произведена аналитическим способом путем ряда математических доказательств Выявлены новые свойства.

Ключевые слова: *пропускная способность, резонансный фильтр, ФМн-п-сигналы, повышение частотной эффективности.*

Литература

1. *Мордвинов А.Е.* Исследование возможности повышения частотной эффективности линий связи за счет использования сигналов с взаимной интерференцией символов: дис. канд. техн. наук (051204) дата защ. 12.10.08, дата утв. 21.05.09. МЭИ(ТУ). 150 с.
2. *Proakis J.G.* Digital Communications, 4th ed., N.Y.: McGraw-Hill, 2000, 928 p.
3. *Qureshi S., Newhall E.* Adaptive Receiver for Data Transmission over Time-dispersive Channels // IEEE Trans, 1973, No. 3, pp. 448-457.
4. *Falconer D.D., Magee F.R.* Adaptive Channel Memory Truncation for Maximum Likelihood Sequence Estimation // BSTJ, 1973, No. 9, pp. 1541-1562.
5. *Clark A.P., Harvey J. D., Driscoll, J.P.* Nearmaximum Likelihood Detection Process for Distored Digital Signals // The Radio and Electronic Engineer, 1978, No.6, pp. 301-309.
6. *Clark A.P., Najdi N.Y., Fairfield, F.J.* Data transmission at 19.2 kbits/s over telephone circuits // The Radio and Electronic Engineer, 1983, No. 4, pp. 157-166.
7. *Vachula G.M., Hill, F.S.* On Optimal Detection of Band-limited PAM Signals with Excess Bandwith // IEEE Trans, 1981, No.6, pp. 886-890.
8. *Weselowski K.* An Efficient DFE ML Suboptimal Receiver for Data Transmission Over Dispersive Channels using Two-Dimensional Signal Constellation // IEEE Trans, 1987, No. 3, pp. 336-339.
9. *Евтянов С.И.* Переходные процессы в приемно-усилительных схемах, М.: Связьиздат, 1948, 221 с.
10. *Shannon C.E.* A Mathematical Theory of Communication // Bell System Technical Journal, 1948, Vol. 27, pp. 379-423, 623-656.
11. *Лернер И.М. Ильин Г.И.* Анализ переходного процесса, вызванного скачком амплитуды и фазы радиоимпульса на входе узкополосной линейной системы // Радиотехника и электроника, 2012, №2. С. 192-206.

Информация об авторе:

Лернер Илья Михайлович, к.ф.-м.н., доцент кафедры РЭКУ, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, Казань, Россия

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:08 Page 74

THE MATHEMATICAL MODEL OF ACCESS LINE SERVING REAL TIME TRAFFIC AND ELASTIC DATA

Sergey N. Stepanov,
Moscow Technical University of Communication and Informatics, Moscow, Russia, ***stpnvsrg@gmail.com***

Andrey M. Romanov,
Moscow Technical University of Communication and Informatics, Moscow, Russia, ***amromanov89@ya.ru***

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 16-29-09497ofi-m.

Keywords: *multiservice models, finite number of sources, dynamic resource distribution, performance measures, system of state equations.*

The model of joint servicing of real time traffic and elastic data is constructed. Flow of requests for real time servicing is described by Engset model (broadband traffic) or by Erlang model (narrowband traffic). Flow of requests for data transmission is described by Poissonian model. Real time traffic has advantage in taking and using the channel resources. It manifests itself in decreasing the speed of data transmission to some minimum value. When system has free capacity the speed of data transmission is increasing. The time of servicing of requests for real time traffic transmission has exponential distribution and doesn't depend on model state. The time of servicing of requests for data transmission also has exponential distribution and its parameter depends on number of free channels. In framework of the constructed model the definitions of main performance measures are formulated through values of probabilities of model's stationary states. For real time traffic the definitions are given for the ratio of lost requests and mean number of occupied channels. For data time traffic the definitions are given for the ratio of lost requests and mean time of message transmission. The methods of estimation of introduced performance measures based and the solving the system of state equations are analyzed. The model can be used for estimation the necessary amount of capacity of access nodes for joint servicing of real time traffic and elastic data. The model can be also used for estimation the data traffic volume that can be jointly transmitted with real time traffic with given values of performance measures.

Information about authors:
Sergey N. Stepanov, *Moscow Technical University of Communication and Informatics, Department of communication networks and commutation systems, professor, doctor of science, Moscow, Russia*
Andrey M. Romanov, *Moscow Technical University of Communication and Informatics, Department of communication networks and commutation systems, PhD student, Moscow, Russia*

Для цитирования:
Степанов С.Н., Романов А.М. Математическая модель линии доступа при обслуживании трафика реального времени и эластичного трафика данных // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №9. С. 74-79.

For citation:
Stepanov S.N., Romanov A.M. (2017). The mathematical model of access line serving real time traffic and elastic data. *T-Comm*, vol. 11, no.9, pp. 74-79.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:09 Page 75

1. Introduction

The estimation of multiservice access nodes throughput is significant task. The solution of this problem is the foundation of planning tools used for calculation of necessary amount of transmission capacity of telecommunication networks. The procedure of resource estimation can be divided into two parts [1-3].

On the first stage we estimate the volume of transmission resource that is necessary for servicing the real time traffic. This type of traffic has absolute or relative priority in capacity usage against elastic data traffic. In case of absolute priority the performance measures of real time traffic streams can be found with help of multiservice Erlang or Engset models [4-6]. In case of relative priority it is necessary to take into account the dependence of real time service characteristics on the elastic traffic. The choice of traffic model is determined by conditions of traffic streams formation. In some cases it is necessary to take into account the dependence of intensity of requests coming on the number of traffic sources. It can be done in situations of analyzing the process of servicing so called «heavy traffic» of modern video applications. This type of traffic consumes a large amount of resources and generated by a small number of users. In this case is necessary to use the Engset model for describing the formation of the requests flow. If the number of users changing doesn't influence greatly the intensity of requests coming then it is possible to use the Erlang model. This is true when requests for voice and some types of video communications are analyzed.

On the second stage, we find the amount of elastic data traffic that can be transmitted jointly with real time traffic using the found value of transmission capacity and keeping the prescribed values of performance measurers indicators or estimate the additional amount of transmission capacity that can be used for its transmission [7-10]. The solution of formulated problems will be considered in the following parts of the paper.

2. Mathematical description of the model

In the model we consider n flows of requests for transmission of real time traffic and one flow of requests for servicing of data traffic. Let us denote by v the total number of resource units (channels) and by r denote the transmission speed provided by one channel. The value of r usually equals to the minimum transmission speed requirement of coming request for servicing. Let us denote by χ_1 the set of flow numbers that presents the traffic coming from users requiring a large amount of transmission capacity. Often this is requests for services based on transmission of video traffic. In this case, Engset model is used to describe the requests coming. Let us denote for this type of flow by γ_k the parameter of exponentially distributed service time and by n_k denote the number of users, $k \chi_1$.

Let us denote by χ_2 the set of flow numbers that presents the traffic coming from users requiring the transmission capacity for servicing of voice traffic and some type of video communications. Because the number of such users are usually large and requirements for transmission capacity are small then changing of their number doesn't influence greatly the intensity of requests coming. In this case we can use the poissonian assumption when describe the requests coming. Let us denote for this type of flows by λ_k the intensity of requests coming, $k \chi_2$.

Let us introduce the common parameters of requests coming and servicing. Let us denote for flow number k by α_k the parameter of exponentially distributed service time, by b_k we denote the number of resource units used for servicing of one request and by a_k we denote the intensity of offered traffic expressed in erlangs, $k = 1, 2, ..., n$. It is easy to verify that for Engset model $a_k = n_k\gamma_k/\alpha_k + \gamma_k$ and for Erlang model $a_k = \lambda_k/\alpha_k$ [1-4].

The flow of requests for data transmission is following the poissonian model with intensity λ_d. The volume of transmitted file has exponential distribution with mean value of F bits. The time of servicing of one request by one channel has exponential distribution with parameter $\mu_d = r/F$. The number of resource units (we call it macrochannel) used for service of one data request varies dynamically and depends on the number of requests being on servicing and takes values from one to v channel units. Let us denote by d the number of requests for data transmission being on servicing and by f denote the number of free resource units. Let us denote by $x = \lfloor f/d \rfloor$ the integer part of dividing f on d. Then for servicing of d requests for elastic data transmission $f - x\,d$ macrochannels each having $x+1$ channels and $d\,(x+1) - f$ macrochannels each having x channels are used. This choice of macrochannels speeds provides the occupation of all channels. It is easy to verify that time until finishing of servicing of one request for data transmission has exponential distribution with parameter equals to $f\mu_d$. The process of usage the resource units of access line is shown on the Figure 1.

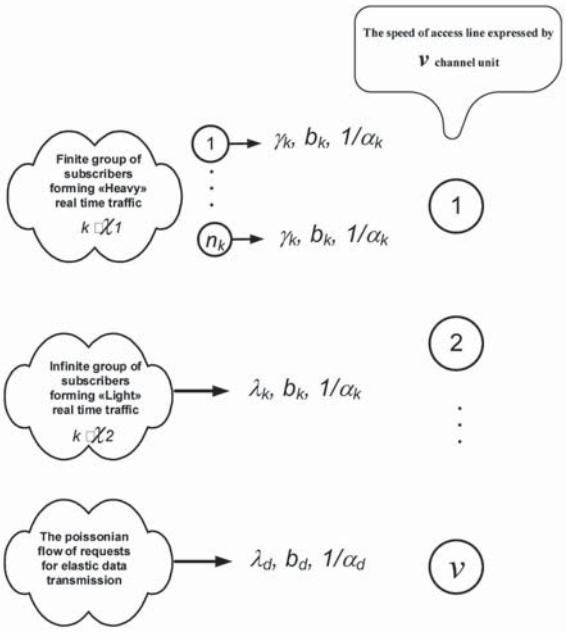


Fig. 1. Access line serving three types of requests for transmission speed

Let us denote by $i_k(t)$ the number of requests of k-th flow for real time traffic transmission being on servicing at time t and by $d(t)$ we denote the number of requests for data traffic transmission being on servicing at time t. The dynamic of a model states changing is described by multidimensional Markov process with components $r(t) = (i_1(t), ..., i_n(t), d(t))$, defined on the finite set of model's states S. Let us suppose that flows from finite groups of subscribers are numerated from 1 to s_1 and flows from infinite groups of subscribers are numerated from s_1+1 to n. So if $k \chi_1$ it

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:09 Page 76

means that k {1, 2, ... s_1} and if k χ_2 it means that k {s_1+1, s_1+2,...,n}. The vector $(i_1,i_2,...,i_n,d)$ belongs to S when $(i_1,i_2,...,i_n,d)$ varies as follows

$$i_1 = 0,1,...,\min(n_1,\left\lfloor\frac{v}{b_1}\right\rfloor);\ i_2 = 0,1,...,\min(n_2,\left\lfloor\frac{v}{b_2}\right\rfloor);$$

$$i_{s_1} = 0,1,...,\min(n_{s_1},\left\lfloor\frac{v-i_1b_1-...-i_{s_1-1}b_{s_1-1}}{b_{s_1}}\right\rfloor);$$

$$i_{s_1+1} = 0,1,...,\left\lfloor\frac{v-i_1b_1-...-i_{s_1}b_{s_1}}{b_{s_1+1}}\right\rfloor;\ d = 0,1,...,v-i_1b_1-...-i_nb_n. \quad (1)$$

Let us denote by $p(i_1,i_2,...,i_n,d)$ the values of stationary probabilities of states $(i_1,i_2,...,i_n,d)$ S. They can be interpreted as portion of time the model stays in the state $(i_1,i_2,...,i_n,d)$. This interpretation gives the possibility to use the values of $p(i_1,i_2,...,i_n,d)$ for estimation of model's main performance measures.

3. The system of state equations

Let us denote in the state $(i_1,i_2,...,i_n,d)$ S by i the total number of resource units occupied on transmission of real time traffic $i=i_1b_1+...+i_nb_n$. Let us construct the system of state equations. It is necessary to equate the intensity of moving $r(t)$ out of the arbitrary model's state $(i_1,i_2,...,i_n,d)$ to the intensity of moving $r(t)$ into the state $(i_1,i_2,...,i_n,d)$. In the model the following events can change it's state: the coming of new requests for servicing and finishing service of already accepted requests. Let us consider these events and write the intensities of changing the model's states.

The coming of request for real time traffic transmission with intensity $(n_k-i_k)\gamma_k$ from k-th flow formed by finite group of subscribers k χ_1 changes the state $(i_1,i_2,...,i_n,d)$ with probability one if there is necessary amount of free resources to accept a call. Necessary condition of this event is inequality $i+d+b_k \le v$. In this case with intensity $P(i_1,i_2,...,i_n,d)(n_k-i_k)\gamma_k$ the model state changes from $(i_1,i_2,...,i_n,d)$ to $(i_1,...,i_k+1,...,i_n,d)$.

The coming of request for real time traffic transmission with intensity λ_k from k-th flow formed by infinite group of subscribers k χ_2 changes the state $(i_1,i_2,...,i_n,d)$ with probability one if there is necessary amount of free resources to accept a call. Necessary condition of this event is inequality $i+d+b_k \le v$. In this case with intensity $P(i_1,i_2,...,i_n,d)\lambda_k$ the model state changes from $(i_1,i_2,...,i_n,d)$ to $i_1,...,i_k+1,...,i_n,d$.

The coming of request for elastic traffic transmission with intensity λ_d from flow formed by infinite group of subscribers changes the state $(i_1,i_2,...,i_n,d)$ with probability one if there is necessary amount of free resources and resources occupied by real time traffic to accept a call. Necessary condition of this event is inequality $i+d+1\le v$. In this case with intensity $P(i_1,i_2,...,i_n,d)\lambda_d$ the model state changes from $(i_1,i_2,...,i_n,d)$ to $(i_1,...,i_k,...,i_n,d+1)$.

The finishing of service of request for real time traffic transmission with intensity $i_k\alpha_k$ changes the state $(i_1,i_2,...,i_n,d)$ with probability one if there is at least one request of k-th flow on service i.e. $i_k>0$. In this case with intensity $P(i_1,...,i_n,d)i_k\alpha_k$ the model state changes from $(i_1,...,i_n,d)$ to $(i_1,...,i_k+1,...,i_n,d)$.

The finishing of service of request for data transmission with intensity $(v-i)\alpha_d$ changes the state $(i_1,...,i_n,d)$ with probability one if there is at least one request on service i.e. $d>0$. In this case with intensity $P(i_1,...,i_n,d)(v-i)\alpha_d$ the model state changes from $(i_1,...,i_n,d)$ to $(i_1,...,i_n,d-1)$.

The sum of these intensities over k from 1 to n gives the left part of the system of state equations. Let us form the right part.

The coming of request for real time traffic transmission with intensity $(n_k-i_k+1)\gamma_k$ from k-th flow formed by finite group of subscribers k χ_1 changes the state ($i_1,...,i_k-1,...,i_n,d$) with probability one if $i_k>0$. In this case with intensity $P(i_1,...,i_k-1,...,i_n,d)(n_k-i_k+1)\gamma_k$ the model state changes from $(i_1,...,i_k-1,...,i_n,d)$ to $(i_1,...,i_n,d)$.

The coming of request for real time traffic transmission with intensity λ_k from k-th flow formed by infinite group of subscribers k χ_2 changes the state $(i_1,...,i_k-1,...,i_n,d)$ with probability one if $i_k>0$. In this case with intensity $P(i_1,...,i_k-1,...,i_n,d)\lambda_k$ the model state changes from $(i_1,...,i_k-1,...,i_n,d)$ to $(i_1,...,i_n,d)$.

The coming of request for elastic traffic transmission with intensity λ_d from flow formed by infinite group of subscribers changes the state $(i_1,...,i_n,d-1)$ with probability one if $d>0$. In this case with intensity $P(i_1,...,i_n,d)\lambda_d$ the model state changes from $(i_1,...,i_n,d-1)$ to $(i_1,...,i_k,...,i_n,d)$.

The finishing of service of request for real time traffic transmission with intensity $(i_k+1)\alpha_k$ change the state $(i_1,...,i_k+1,...,i_n,d)$ with probability one if it is true that $i+d+b_k\le v$. In this case with intensity $P(i_1,...,i_k+1,...,i_n,d)(i_k+1)\alpha_k$ the model state changes from $(i_1,...,i_k+1,...,i_n,d)$ to $(i_1,...,i_n,d)$.

The finishing of service of request for elastic traffic transmission with intensity $(v-i)\mu_d$ change the state $(i_1,...,i_n,d+1)$ with probability one if it is true that $i+d+1\le v$. In this case with intensity $P(i_1,...,i_n,d+1)(v-i)\mu_d$ the model state changes from $(i_1,...,i_n,d+1)$ to $(i_1,...,i_n,d)$.

The sum of these intensities over k gives the right part of the system of state equations. Equating the left and right parts gives system of state equations that relets the model's stationary probabilities $p(i_1,...,i_n,d)$. This system looks as follows:

$$\begin{aligned}
&P(i_1,...,i_n,d)\{\sum_{k\in\chi_1}((n_k-i_k)\gamma_kI(i+d+b_k\le v)+i_k\alpha_kI(i_k>0))+\\
&+\sum_{k\in\chi_2}(\lambda_kI(i+d+b_k\le v)+i_k\alpha_kI(i_k>0))+\\
&+\lambda_dI(i+d+1\le v)+\mu_d(v-i)I(d>0)\}=\\
&=\sum_{k\in\chi_1}P(i_1,...,i_k-1,...,i_n,d)(n_k-i_k+1)\gamma_kI(i_k>0+\\
&+\sum_{k\in\chi_2}P(i_1,...,i_k-1,...,i_n,d)\lambda_kI(i_k>0)+\\
&+P(i_1,...,i_n,d-1)\lambda_dI(d>0)+\\
&+\sum_{k=1}^{n}P(i_1,...,i_k+1,...,i_n,d)(i_k+1)\alpha_kI(i+d+b_k\le v)+\\
&+P(i_1,...,i_n,d+1)\mu_d(v-i)I(i+d+1\le v)\\
&(i_1,i_2,...,i_n,d)\ S
\end{aligned} \quad (2)$$

By I(•) in (2) the indicator function is defined

$$I(\bullet)=\begin{cases}1, & \text{if condition formulated in brackets is fulfilled,}\\ 0, & \text{if this condition isn't fulfilled.}\end{cases} \quad (3)$$

The relation (2) is valid for all $(i_1,i_2,...,i_n,d)$ S. The unnormalized values of probabilities $P(i_1,i_2,...,i_n,d)$, which are obtained after solving the system (2), should be normalized:

$$p(i_1,...,i_n,d)=\frac{P(i_1,...,i_n,d)}{\sum_{(i_1,...,i_n,d)\in S}P(i_1,...,i_n,d)}.$$

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:10 Page 77

The values of $p(i_1,i_2,...,i_n,d)$ can be found by standard algorithms of linear algebra. The most effective approach is to use Gauss-Zeidel iteration method.

4. Performance measures

The process of servicing the real time traffic depends on the model of input flow. For Engset model it will be characterized by the portion of time when necessary amount of free resource is insufficient for excepting of a call, by the portion of lost requests, by portion of lost traffic and by the mean number of occupied service units. For Poissonian model it will be characterized by the portion of time when necessary amount of free resource is insufficient for excepting of a call and by the mean number of occupied service units. The process of servicing the elastic data will be characterized by the portion of lost requests and by the mean time of file transmission. In the framework of the model constructed listed above performance measures can be found after summing probabilities $p(i_1,i_2,...,i_n,d)$ over corresponding subsets of S.

The portion $\pi_{t,k}$ of time when necessary amount of free channels is insufficient for excepting of a call of k-th flow is obtained after summing probabilities of states having such property

$$\pi_{t,k} = \sum_{\{(i_1,...,i_n,d)\in S | i+d+b_k>v\}} p(i_1,...,i_n,d)\cdot$$

The mean number m_k of resource units occupied by servicing the requests of k-th flow is defined by relation

$$m_k = \sum_{(i_1,...,i_n,d)\in S} p(i_1,...,i_n,d) i_k b_k \cdot$$

The mean number y_k of requests of k-th flow being on servicing is defined by relation

$$y_k = \sum_{(i_1,...,i_n,d)\in S} p(i_1,...,i_n,d) i_k \cdot$$

The portion $\pi_{c,k}$ of lost requests of k-th flow formed by finite group of subscribers k χ_1 because of absence the necessary amount of free channels is defined as ratio of the intensity of lost requests to the intensity of coming requests

$$\pi_{c,k} = \frac{\sum_{\{(i_1,...,i_n,d)\in S | i+d+b_k>v\}} p(i_1,...,i_n,d)(n_k - i_k)\gamma_k}{\sum_{(i_1,...,i_n,d)\in S} p(i_1,...,i_n,d)(n_k - i_k)\gamma_k} \cdot$$

The portion $\pi_{l,k}$ of lost traffic of k-th flow formed by finite group of subscribers k χ_1 is defined as ratio of the blocked traffic to the intensity of coming traffic

$$\pi_{l,k} = \frac{a_k - y_k}{a_k} \cdot$$

The intensity Λ_k of coming requests of k-th flow formed by finite group of subscribers k χ_1 is defined as follows.

$$\Lambda_k = \sum_{(i_1,...,i_n,d)\in S} p(i_1,...,i_n,d)(n_k - i_k)\gamma_k \cdot$$

Let us define the formal definitions for estimation of elastic data transfer performance measures. The portion of π_d of lost requests for data transmission because of absence the necessary amount of free channels is defined as the portion of time the model spends in the states when $i+d+1>v$.

$$\pi_d = \sum_{\{(i_1,...,i_n,d)\in S | i+d+1>v\}} p(i_1,...,i_n,d)\cdot$$

The mean number of requests y_d for data transmission beige on service is defined by relation

$$y_d = \sum_{(i_1,...,i_n,d)\in S} p(i_1,...,i_n,d) d \cdot$$

The mean time W of message (file) transmission is defined with help of Little's formula

$$W = \frac{y_d}{\lambda_d(1-\pi_d)} \cdot$$

The number of resource units used for data transmission by servicing of one request is a random variable. Let us denote by b_d it's mean value. The value of b_d is defined by relation

$$b_d = \frac{\sum_{(i_1,...,i_n,d)\in S} p(i_1,...,i_n,d)(v-i)}{y_d} \cdot$$

The intensity d_s of data transmission is defined by relation

$$d_s = \sum_{\{(i_1,...,i_n,d)\in S | d>0\}} p(i_1,...,i_n,d)(v-i)\mu_d \cdot$$

After summing up the system of state equations or using the Little's formula it is easy to obtain relations connected introduced performance measures. Let us consider the process of servicing of the requests of k-th flow formed by finite group of subscribers k χ_1. Then the following relations are true

$$\Lambda_k = \Lambda_k \pi_{c,k} + y_k \alpha_k \cdot \quad (4)$$

Now let us consider the process of servicing of the requests of k-th flow formed by infinite group of subscribers k χ_2. Then the following relations are true

$$\lambda_k = \lambda_k \pi_{l,k} + y_k \alpha_k \cdot \quad (5)$$

Now let us proceed to the process of servicing of the flow for elastic data transmission

$$\lambda_d = \lambda_d \pi_d + d_s \cdot \quad (6)$$

5. Practical usage of the model

The model constructed can be used for analyzing the influence of main performance measures on the model's input parameters. Let us consider for model with two flows i=2 the dependence of $\pi_{t,1}$, $\pi_{c,1}$, $\pi_{l,1}$ on the value of n_1 the number of subscribers forming the first flow of requests. The values of $\pi_{t,1}$ (curve 1), $\pi_{c,1}$ (curve 2), $\pi_{l,1}$ (curve 3) are shown on the Figure 2 for the following fixed values of input parameters: v=120 resource units (r.u.), $\lambda_1 = 120/3b_1$, b_1=20 r.u., $\gamma_1 = \lambda_1/n_1 - \lambda_1$, α_1=1, $\lambda_2 = 120/3b_2$, b_2=1 r.u., α_2=1, $\lambda_d = 40$, μ_d=1. The unit of time is the mean time of request servicing. For small values of n_1 the difference between values of $\pi_{t,1}$, $\pi_{c,1}$, $\pi_{l,1}$ is significant and should be taken into account. It is necessary to mention that for poissonian process the values of $\pi_{t,1}$, $\pi_{c,1}$, $\pi_{l,1}$ are the same.

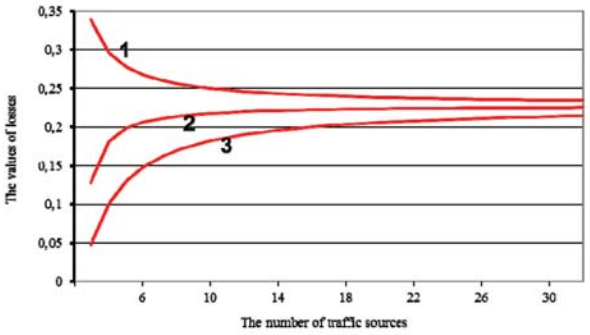


Fig.2. The dependence of performance measures on number of traffic sources

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:10 Page 78

The model can also be used for estimation of the necessary amount of the transmission resources of access line when servicing real time traffic together with elastic data. Let us consider the model of access line for the following fixed values of input parameters: v=120 r.u., $\lambda_1 = 120/3b_1$, b_1=5 r.u., n_1=10, $\gamma_1 = \lambda_1/n_1 - \lambda_1$, α_1=1, $\lambda_2 = 120/6b_2$, b_2=1 r.u., α_2=1, λ_d=80, μ_d=1. The unit of time is the mean time of request servicing. The values of W (curve 1), $\pi_{c,1}$ (curve 2), $\pi_{t,1}$ (curve 3) are shown on the Figure 3.

The procedure of determination of v satisfying both to $\max(\pi_{t,1}, \pi_{c,1}, \pi_{l,1})$<0,05 and W < 0,1 is also presented on the Figure 3. The first inequality is obtained when v=140 r.u., the first and second inequality are obtained when v=154 r.u.

The model can be also used for estimation the data traffic volume that can be jointly transmitted with real time traffic with given values of all performance indicators.

To solve the formulated problem firstly it is necessary to estimate the volume of transmission resources that is necessary for servicing real time traffic with given value of performance indicator. Usually this is portion of the lost requests. It can be done independently on data traffic because real time traffic has some sort of advantage in capacity usage. Further we find the amount of elastic data traffic that can be transmitted jointly with real time traffic using the found value of transmission capacity with given value of performance indicator. Usually this is the mean time of file transmission.

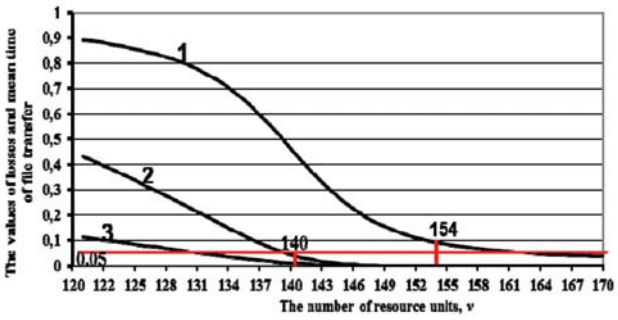


Fig. 3. The procedure of determination of v satisfying both to $\max(\pi_{t,2}, \pi_{c,1}, \pi_{l,1})$<0,05 and W<0,1

6. Conclusion

The model of joint servicing of requests for real time traffic transmission and elastic data transmission is constructed and analyzed. Requests for real time servicing are following to Engset flow model (broadband traffic) or Erlang flow model (narrowband traffic). Requests for data transmission are following to Poisson flow model. Real time traffic has advantage in taking and using the channel resources by decreasing if necessary the speed of data transmission to some minimum value.

The time of servicing of requests for real time traffic transmission has exponential distribution and doesn't depend on model state. The time of servicing of requests for data transmission also has exponential distribution and its parameter depends on number of free channels. In framework of the constructed model the definitions of main performance measures are formulated through values of probabilities of model's stationary states. Their values can be found after solving the system of state equations by Gauss-Zeidel iteration algorithm. It is shown how the model can be used for estimation the necessary amount of capacity of access nodes for joint servicing of real time traffic and elastic data with given values of all performance indicators.

References

1. Stepanov S.N. (2010). *The fundamentals of teletraffic of multiservice networks*. Moscow: Eqo-Trends. 392 p. (*in Russian*)
2. Ross K. W. (1995). *Multiservice loss models for broadband telecommunication networks*. London: Springer. 343 p.
3. Stepanov S.N. (2015). *Teletraffic theory: concepts, models, applications*. Moscow: Hotline-Telecom. 868 p. (*in Russian*)
4. Stepanov S.N. (2011). The model of joint servicing the real time traffic and data. I. *Automation and Remote Control*. № 4, pp.121-132. (*in Russian*)
5. Stepanov S.N. (2011). The model of joint servicing the real time traffic and data. II. *Automation and Remote Control*. № 5, pp.139-147. (*in Russian*)
6. Stepanov S.N. (2010). The model of servicing the real time traffic and data with dynamically changeable transmission speed. *Automation and Remote Control*. No. 1, pp.18-33. (*in Russian*)
7. Bonald T., Virtamo J. (2005). A recursive formula for multirate systems with elastic traffic. *IEEE Communications Letters*. Vol. 9, pp. 753-755.
8. Iversen V.B. (2010). *Teletraffic Engineering and Network Planning*. Technical University of Denmark, May 2010. 370 p.
9. Stepanov S.N., Romanov A.M. (2014). Real-time traffic service modeling specialities of a finite user group and data traffic with a dynamically changeable transmission speed on access lines. *T-Comm*. Vol. 8. No. 12, pp. 91-93. (*in Russian*)
10. Stepanov S.N., Romanov A.M., Osia D.L. (2015). Construction and analysing of data transmission model on access line with finite number of subscribers. *T-Comm*. Vol. 9. No. 9, pp. 29-34. (*in Russian*)

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:10 Page 79

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИНИИ ДОСТУПА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ТРАФИКА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И ЭЛАСТИЧНОГО ТРАФИКА ДАННЫХ

Степанов Сергей Николаевич, *Московский Университет Связи и Информатики (МТУСИ), Москва, Россия,*
stpnvsrg@gmail.com
Романов Андрей Михайлович, *Московский Университет Связи и Информатики (МТУСИ), Москва, Россия,*
amromanov89@ya.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-29-09497офи-м)

Аннотация
Построена модель совместной передачи трафика сервисов реального времени и трафика данных, допускающего задержку в процессе передачи по сети. Поступление заявок на передачу трафика сервисов реального времени следует либо модели Энгсета (широкополосный трафик) либо пуассоновской модели (узкополосный трафик). Поступление заявок на передачу трафика данных следует пуассоновской модели. Трафик реального времени имеет приоритет в занятии и использовании канального ресурса. Он выражается в уменьшении скорости передачи данных до некоторого минимального значения. При появлении свободного канального ресурса скорость пересылки данных возрастает. Время обслуживания заявки на передачу трафика реального времени имеет экспоненциальное распределение и не зависит от состояния модели. Время обслуживания заявки на передачу трафика данных также имеет экспоненциальное распределение, но его параметр зависит от числа свободных единиц канального ресурса. В рамках построенной модели сформулированы определения для оценки основных характеристик качества совместного обслуживания поступающих заявок через значения стационарных вероятностей состояний модели. Для трафика реального времени приведены определения для оценки доли потерянных заявок и средней величины занятого ресурса. Для трафика данных даны определения для доли потерянных заявок и среднего времени доставки сообщения. Проанализированы способы расчета введенных характеристик на основе решения системы уравнений статистического равновесия. Построенная модель дает возможность вести оценку необходимого ресурса линий доступа при совместном обслуживании мультисервисного трафика коммуникационных приложений реального времени и эластичного трафика данных. Другой областью использования модели является оценка объема трафика данных, который может быть передан совместно с трафиком реального времени с заданными показателями качества обслуживания всех анализируемых информационных потоков.

Ключевые слова: *мультисервисные модели, конечное число источников, динамическое распределение ресурса, характеристики пропускной способности, система уравнений равновесия.*

Литература

1. *Степанов С.Н.* Основы телетрафика мультисервисных сетей. М.: Эко-Трендз. 2010. 392 с.
2. *Ross K.W.* Multiservice loss models for broadband telecommunication networks. London: Springer, 1995. 343 p.
3. *Степанов С.Н.* Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. М.: Горячая линия-Телеком, 2015. 868 с.
4. *Степанов С.Н.* Модель обслуживания трафика сервисов реального времени и данных с динамически изменяемой скоростью передачи // Автоматика и телемеханика. 2010. № 1. С.18-33.
5. *Степанов С.Н.* Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. I // Автоматика и телемеханика. 2011. № 4. С.121-132.
6. *Степанов С.Н.* Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. II // Автоматика и телемеханика. 2011. № 5. С.139-147.
7. *Bonald T., Virtamo J.* A recursive formula for multirate systems with elastic traffic // IEEE Communications Letters. 2005. Vol.9. Pp. 753-755.
8. *Iversen V.B.* Teletraffic Engineering and Network Planning. Technical University of Denmark, May 2010. 370 p.
9. *Степанов С.Н., Романов А.М.* Моделирование особенностей обслуживания трафика реального времени от конечных групп пользователей и трафика данных с динамически изменяемой скоростью передачи на линиях доступа // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Том 8. № 12. С. 91-93.
10. *Степанов С.Н., Романов А.М., Осия Д.Л.* Построение и анализ модели передачи данных на линии доступа от конечной группы абонентов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Том 9. № 9. С. 29-34.

Информация об авторах:
Степанов Сергей Николаевич, Московский Университет Связи и Информатики (МТУСИ), профессор кафедры сетей связи и систем коммутации, д.т.н., Москва, Россия
Романов Андрей Михайлович, Московский Университет Связи и Информатики (МТУСИ), аспирант кафедры сетей связи и систем коммутации, Москва, Россия

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:10 Page 80

SYNTEZ OF SECURITY FUNCTIONS AGAINST CYBER-ATTACKS

Alexey N. Nazarov,
LLC SmartTech, Moscow, Russia,
a.nazarov06@bk.ru

Keywords: *cyber attack, intellectual information security, artificial intelligence, graph, cloud computing, security functions, model, incidence matrix, path in the graph, branches, boundaries.*

Intelligent or "smart" information security on the life cycle of a risk object means continuous provision and assessment of its security state under the impact of changing cyber-attacks on the basis of solving the problem of automated monitoring of the status of the risk object. And it consists in the continuous accumulation of the cloud knowledge base from the experience of different participants in the information confrontation, the results of assessing the risk of attack and modeling complex processes of preparation and execution of attacks. The aspect of modeling is very important, as it allows to save on field studies and can anticipate the behavior of the parties in the attack process.

In this regard, the formal formulation of the scientific problem of modeling scenarios of "trajectory" or "penetration" or "invasion" of cyber-attacks to a risk object with the subsequent automated synthesis of options for countering an attack is relevant. The highest rates of development of infocommunication technologies, covering various subject areas relevant to humanity, raise new requirements for ensuring information security of risk objects. Cyber-attacks, as complex processes, are based on the latest infocommunication technologies, which causes the development of intellectual approaches to counteract them. To apply methods of artificial intelligence to counter information attacks, an approach is used based on the security functions of the risk object, which allows developing methodological recommendations focused on the potential of cloud computing. The article develops a method for synthesizing the security functions of the risk object from a cyber- attack based on calculus of graphs.

Information about author:
Alexey N. Nazarov, *Professor, Director for Science and Development, LLC SmartTech, Moscow, Russia*

Для цитирования:
Назаров Алексей Николаевич. Синтез функций защиты от кибер-атак // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №9. С. 80-85.

For citation:
Nazarov A.N. (2017). Syntez of security functions against cyber-attacks. *T-Comm*, vol. 11, no.9, pp. 80-85.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:11 Page 81

I. Statement of the research task

For an arbitrary risk object of the information and telecommunications system undergoing a cyber-attack, in general, there exists [1-3] a complete (in the cause-effect sense) system (list) of the security functions (see Table 1, Fig. 1 and Table 2).

Table 1. Security Functions

Designation of security functions	Appointment of security functions
X_1	Preventing the occurrence of conditions conducive to the generation of (occurrence) destabilizing factors (DF)
X_2	Warning immediate manifestations of destabilizing factors
X_3	Detection manifested destabilizing factors
X_4	Prevention of exposure to risk in the manifested and revealed destabilizing factors
X_5	Prevention of exposure to risk on the manifest, but the undetected destabilizing factors
X_6	Detecting the impact of destabilizing factors on the subject of risk
X_7	Localization (restriction) found the impact of destabilizing factors on the subject of risk
X_8	Localization of undetected exposure to risk by destabilizing factors
X_9	Dealing with the consequences of the localized impact of the detected object on the destabilizing factors risk
X_{10}	Dealing with the consequences of undetected localized exposure to risk by destabilizing factors

Table 2. Final events in Fig. 1

$И_1 \div И_6$	Defence Provided
$И_7, И_8$	Defence Broken
$И_9, И_{10}$	Defence Destroyed

Each security function in general is a condition for suppressing an attack. The system of security functions allows, on a universal methodical basis, to unite and supplement the methods, means, technologies of information security from various subject areas that do not intersect in their physical and natural essence, including normative legal acts.

The security functions depend on a large number of destabilizing factors [1]. For specific objects of risk, these functions are the basis of the security policy and are developed and investigated by the security service of the risk object. Attackers also analyze the known security functions of the object of risk in order to identify vulnerabilities and the formation of antipodes of security functions – intrusion functions. Each of the parties in relation to the object of risk pursues opposite goals. Security functions and intrusion functions are respectively developed and implemented by each of the parties on the basis of their available measures, tools and knowledge to ensure information security of risk objects.

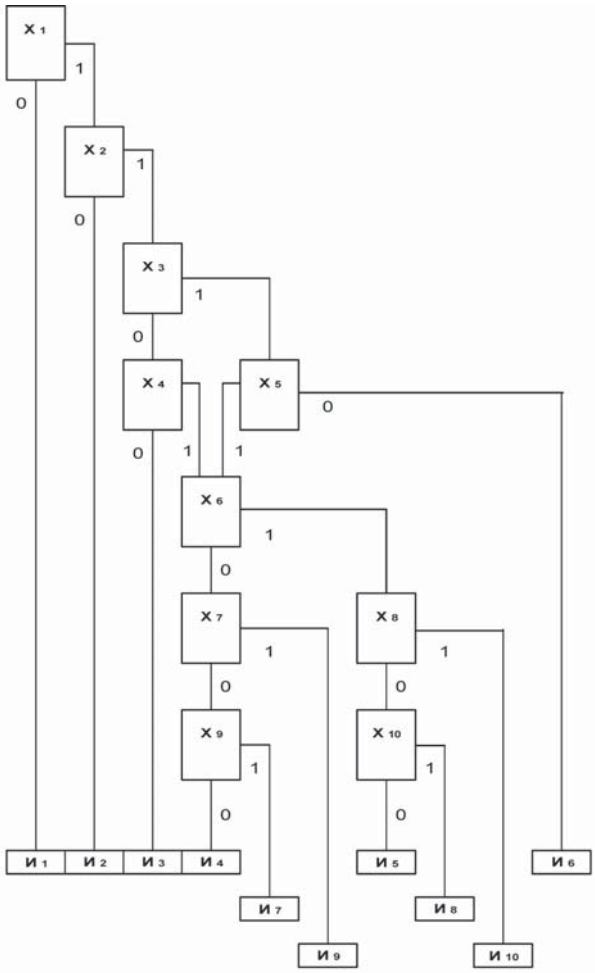


Fig. 1. The causal diagram of the security functions $X_1 \div X_{10}$ and results of attack $И_1 \div И_{10}$

The essence of each of the security functions listed in [1] is unique. And technologies and technical solutions for the implementation of security functions can and should be modified when new knowledge is received about the possibilities of cyber-attack.

Approaches to the practical creation of security functions on the basis of meeting the condition of attainability of an acceptable, sufficient level of safety are given in [4]. In general, in order to protect the risk object, an infobase safety policy is developed, which is guided by the creation of barriers or lines of defense that impede the possibility of an attack. The boundaries of protection can be: protected area, access system to objects and buildings, user authentication, organization of password access to information of a certain category, etc. [3, 5]. Meanwhile, in view of the huge number of destabilizing factors, the influence of which must be taken into account in the technical implementation of the safety policy of the risk object, theoretical investigations are needed that have common application and allow the machine to develop solutions for the synthesis of security functions.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:11 Page 82

As shown in [1-3], in the case of cyber-attack, the security functions are linked by cause-effect transitions (see Fig. 1). Therefore, the natural interpretation of such transitions in the form of a Oriented graph, which, in turn, can be represented as an incidence matrix [5].

In this connection, we formulate the research problem as follows:

– to develop an approach for constructing a graph model of cyber-attack and based on the calculation of graphs to create a method for modeling the paths to the success of a cyber-attack, and then to develop a machine-oriented method for synthesizing security functions that prevent graph ways to the success of cyber-attacks.

II. Formalizm of events of security functions

We will denote by the corresponding binary logical variables $И_1^{ИЗВ}, И_2^{ИЗВ}, \ldots, И_m^{ИЗВ}$, $m=10$ the final events , that can occur when the currently known security functions $X_1^{ИЗВ} \div X_{10}^{ИЗВ}$ object of risk. These events and known security functions completely correspond to the scheme of cause-effect relations, shown in Fig. 1.

From [4], the logical condition for the success of a risk object against an attack A (L-criterion) can be written as follows

$$Y_A^{ИЗВ}=1,$$

which is executed when at least one of the following conditions is fulfilled:

$$\begin{cases} \overline{X}_1^{ИЗВ}=1, \\ X_1^{ИЗВ}\overline{X}_2^{ИЗВ}=1, \\ X_1^{ИЗВ}X_2^{ИЗВ}\overline{X}_3^{ИЗВ}\overline{X}_4^{ИЗВ}=1, \\ X_1^{ИЗВ}X_2^{ИЗВ}\left(\overline{X}_3^{ИЗВ}X_4^{ИЗВ}\vee X_3^{ИЗВ}X_5^{ИЗВ}\right)\bullet \\ \bullet\,\overline{X}_6^{ИЗВ}\overline{X}_7^{ИЗВ}\overline{X}_9^{ИЗВ}=1, \\ X_1^{ИЗВ}X_2^{ИЗВ}\left(\overline{X}_3^{ИЗВ}X_4^{ИЗВ}\vee X_3^{ИЗВ}X_5^{ИЗВ}\right)\bullet \\ \bullet\,X_6^{ИЗВ}\overline{X}_8^{ИЗВ}\overline{X}_{10}^{ИЗВ}=1, \\ X_1^{ИЗВ}X_2^{ИЗВ}X_3^{ИЗВ}\overline{X}_5^{ИЗВ}=1. \end{cases} \quad (1)$$

Analyzing the system of relations (1) and Fig. 1, we note that with perfect security, the first relation is satisfied, and with weak security, the sixth one is executed. In this case, the object of risk still reflects the attack. With an ideal protection, the security function $X_1^{ИЗВ}$ is so good that its execution copes with the attack and other security functions are not even involved.

However, the fact that the sixth ratio is fulfilled means that the previous five are not met. That is, the performance of the security functions included in these five ratios did not reflect the attack.

Similarly, the fulfillment of relations 2-5 from (1) illustrates a certain "weakness" of the security functions that appear in the relations preceding them from (1).

Each of the security functions fulfills its mission (see Fig. 1), depending on the event that occurred during the attack. Causal-effect transitions between security functions in Fig. 1 are actually implemented based on the results of the reaction of security functions to specific actions or attack processes, which are accompanied by the appearance of real, observable, fixed events.

As in [1], suppose that the binary logical variable $x_{ji}, j=1\div n, n=10$, $i=1\div k_j$ is 1 (see "1" in Fig. 1), if the performance of the j – security function is unsuccessful when the event ji occurs, and is equal to 0 (see "0" in Fig. 1) otherwise.

Therefore, any security function can be represented as a disjunction of components - Boolean variables

$$X_i^{ИЗВ}=x_{i1}\vee x_{i2}\vee\ldots\vee x_{ik_i} \quad (2)$$

And then the transition $X_i^{ИЗВ}\to X_{i+1}^{ИЗВ}$ between the security functions in Fig. 1 in the attack process when a particular event s occurs (manifestation) actually occurs due to the transition $x_{is}\to x_{i+1s}$ between their concrete (2) Boolean components.

III. Modeling information attack scenarios

As cyber-attacks are continuously improved, modified, and the hacker community is in constant development of new attacks and in regular communication on the exchange of experience in this matter, the number of events of the attack process is constantly increasing. New signatures of malicious code are created, weaknesses are searched for in legal documents related to information security of risk objects, etc. A lot of useful information on the attacks can be found in various forums of the Internet community.

Therefore, in the general case, $k_i=k_i(t)$ – is a nondecreasing integer-valued function in (2).

The response of the security function to an event is the decision taken on the transition from the security function to either the final event or to another security function. The decision itself is made based on the processing of information that accompanies the event or, in other words, the results of processing the Boolean component of the security function. As a result, a knowledge base is formed on the characteristics of cyber-attacks, including the events of attack processes and reactions to them.

Analysis of the content side, the nature of the events and the reactions of the security functions to them, will be postponed to another study.

The attacker develops an attack scenario. The implementation of the attack process is accompanied by events (manifestations) of this attack. Events can be expected (predictable) or unexpected (unpredictable).

It can be stated that the success of any cyber-attack is accompanied by a sequence of scenarios of the attack process, illustrating the failure of known security functions. This conclusion corresponds to [4] the final events $H_7\div H_{10}$ in Fig.1. The absence of an upper index $ИЗВ$ indicates that a new vulnerability has been discovered that is not taken into account by known security functions.

We model the scenarios of the attack process and the transitions between them in the following way. Two edges emerge from the vertex x_{ji}: one for $x_{ji}=1$ and the second for $x_{ji}=0$. The first edge connects the vertices x_{ji} and x_{j+1i_1}, and the second connects the vertices x_{ji} and x_{j+1i_0} the Oriented graph.

Such a construction of an oriented graph allows it to be formalized in the form of a corresponding incidence matrix in which lines from top to bottom and columns from left to right are an ordered sequence of all vertices x_{ji} of the oriented graph. The

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:11 Page 83

above-mentioned edges of the oriented graph correspond to the numerical value of the element (1 or 0) of the incidence matrix located at the intersection of the corresponding line and column of Table 3.

Table 3. Incidence matrix of events the attack process

The events of Scenario of the attack process	x_{11}	x_{12}	…	x_{ji}	…
x_{11}					
x_{12}					
…					
x_{j+1i_0}				0	
…					
x_{j+1i_j}				1	
…					
$И_7$					
…					

The scenario of the success of an attack in a graph model is a path, described by a sequence $x_{1i_1} \to \ldots \to И_k$, $k = 7 \div 10$.

Multiple scenarios of attack successes can be interpreted by calculating graph paths for various events in the attack process. To such a set of paths, by analogy with [6], there will correspond, according to Fig. 1, a finite set of Boolean polynomials of the components of the security functions as follows

$$BPYx_A Graf = \left\{ bp_A\left(x_{1i_1}, x_{2i_2}, \ldots, x_{10i_{10}}\right) = 1 \right\}, \quad (3)$$

where the indices $i_r \in I_r \not\in \Phi$, $r = 1 \div 10$, and

$$bp_A\left(x_{1i_1}, x_{2i_2}, \ldots, x_{10i_{10}}\right) = \quad (4)$$
$$= x_{1i_1} x_{2i_2} \left(\overline{x_{3i_3}} x_{4i_4} \vee x_{3i_3} x_{5i_5}\right) \bullet$$
$$\bullet \left(\overline{x_{6i_6} x_{7i_7}} x_{9i_9} \vee x_{6i_6} \overline{x_{8i_8}} x_{10i_{10}} \vee \overline{x_{6i_6}} x_{7i_7} \vee x_{6i_6} x_{8i_8}\right),$$

where the indices $i_r \in I_r \not\in \Phi$.

It follows from (4) that the condition (Criterion-1) of the absence of successful attack scenarios can be written as follows

$BPYx_A Graf = \Phi$ - empty set, (5)

or, differently (Criterion-2), using a set of indexes

$$\left(I_1 = \Phi \vee I_2 = \Phi\right) \vee \left(\left(I_3 = \Phi \vee I_4 = \Phi\right) \wedge \left(I_3 = \Phi \vee I_5 = \Phi\right)\right) *$$
$$* \left(\left(I_6 = \Phi \vee I_7 = \Phi \vee I_9 = \Phi\right) \wedge \left(I_6 = \Phi \vee I_8 = \Phi \vee I_{10} = \Phi\right) \wedge\right.$$
$$\left. \wedge \left(I_6 = \Phi \vee I_7 = \Phi\right) \wedge \left(I_6 = \Phi \vee I_8 = \Phi\right)\right) = 0. \quad (6)$$

A lot of scenarios for the success of an attack can be obtained by a total search of possible transitions in the incidence matrix from Table 2. Wherein

$$I = I_1 \times I_2 \times \cdots \times I_r \not\in \Phi, \quad (7)$$

where $I_r \not\in \Phi$, where $\times$ - is the symbol of Cartesian (direct) product of sets.

If the condition (Criterion-3)

$$|I| = 0, \quad (8)$$

is satisfied, then this means the absence of scenarios for the success of the attack, where $|*|$ – is the power (the number of elements) of the set $*$.

IV. The suppression of graph ways to the success of cyber attack

The actual scientific and practical task – to disrupt all possible scenarios for the successful implementation of an cyber-attack, within the framework of the graph approach, is reduced to the necessity (see (3-8)) to interrupt all graphical ways to the success of the cyber-attack. We transform the solution of the covering problem [5] to our case.

According to (3), the criterion for the success of the i-th scenario of the success of an attack in the formalism of graph paths is

$$bp_A\left(x_{1i_1}, x_{2i_2}, \ldots, x_{10i_{10}}\right) = 1$$

or, which is the same thing (4),

$$x_{1i_1} x_{2i_2} \left(\overline{x_{3i_3}} x_{4i_4} \vee x_{3i_3} x_{5i_5}\right) \wedge$$
$$\wedge \left(\overline{x_{6i_6} x_{7i_7}} x_{9i_9} \vee x_{6i_6} \overline{x_{8i_8}} x_{10i_{10}} \vee \overline{x_{6i_6}} x_{7i_7} \vee x_{6i_6} x_{8i_8}\right) = 1, \quad (9)$$

where the indices $i_r \in I_r \not\in \Phi$, $r = 1 \div 10$, $I = I_1 \times I_2 \times \cdots I_r \not\in \Phi$.

It follows from (7) - (9) that NSY_A - the number of scenarios for the success of an attack can be estimated

$$NSY_A = |I| = \begin{cases} 0, \text{ there are no successful attacks}, \\ > 0, \text{ there are successful attacks}. \end{cases} \quad (10)$$

To prevent the attack from succeeding, that is, (9) is not satisfied, it is sufficient that at least one of the following conditions is fulfilled

$$\begin{cases} x_{1i_1} x_{2i_2} = 0, \\ \overline{x_{3i_3}} x_{4i_4} \vee x_{3i_3} x_{5i_5} = 0, \\ \overline{x_{6i_6} x_{7i_7}} x_{9i_9} \vee x_{6i_6} x_{8i_8} x_{10i_{10}} \vee x_{6i_6} x_{7i_7} \vee x_{6i_6} x_{8i_8} = 0, \end{cases} \quad (11)$$

where the indices $i_r \in I_r \not\in \Phi$, $r = 1 \div 10$, $I = I_1 \times I_2 \times \cdots I_r \not\in \Phi$.

This is the problem of finding the minimum section on the graph, which is solved by determining the minimal covering on the incidence matrix. Such a minimal covering is formed by covering at least one edge of the oriented graph corresponding to a single transition value (see Table 2) between Vertices of the oriented graph that correspond to successful attack events modeled by the corresponding Boolean components of the conjunctive components of the system of equations (11) with positive Condition (10).

Note. To fulfill at least one of the equalities (11) it is sufficient that the disjunctive terms of this equality are equal to zero.

This note implies the possibility of reducing the system of equalities (11) by 3 successively solved problems of finding the solution of the corresponding Boolean equation from (11).

Since the practical implementation and modernization of security functions can be difficult, requiring a significant financial cost, it is advisable to consider options for automated synthesis of security functions in the direction of options for their technical implementation from simple (cheap) to complex (expensive).

V. Graph method of synthesizing security functions

On the basis of Table 2, we will form a new oriented graph of scenarios for attacking the risk object and its corresponding incidence matrix

$$A = \left\| a_{ij} \right\|, \quad (12)$$

where $i=1 \div NSY_A$ - number of scenarios for the success of the attack; $j \in J$ – the number of xx_j -edge of the new graph that is obtained by any bijective transformation

$$x_{rs_r} \leftrightarrow xx_{j_{rs_r}},$$

for example, according to the following rule:

$$j_{rs_r} = s_{r-1} + s_r, \quad (13)$$

with $s_0 = 0$,

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ if the } j\text{-edge enters to the } i\text{ – scenario path} \\ \quad \text{of attack success (can cover it),} \\ 0, \text{ otherwise.} \end{cases}$$

Note. The transition to single-index numbering of the edges of the oriented graph means appropriate reordering with re-designation of the events of the cyber-attack (see (2)). Other bijective transformations are possible, other than (13), conditioned by concrete circumstances, requirements to counteract cyber-attacks.

Statement of the problem of coverage – all scenarios for the success of cyber-attack (penetration) to cover (interrupt) with a minimum number of edges :

$$\sum_{i=1}^{NSY_A} \sum_{j \in J} xx_{ij} \to \min, \quad (14)$$

moreover (see (12), (13)) the redundancy of the unrealized possibilities of the covering edges of the graph tends to a minimum:

$$\sum_{j \in J} a_{ij} xx_{ij} \to \min, \; i = 1 \div NSY_A, \quad (15)$$

with restriction: each edge covers at least one path:

$$\sum a_{ij} xx_{ij} \geq 1. \quad (16)$$

This problem (14-16) is solved by the method of branches and boundaries [5]. To estimate the boundaries of the solution, according to the recommendations of [5], it is necessary to determine the power of each edge:

$$W(j) = E'(j) - S(j),$$

where $E'(j)$ – is the j-edge potential, $S(j)$ – the redundancy or unused capabilities of the j-th edge, which can be estimated as follows:

$$E'(j) = \sum_{\forall i \in NoNSY_A} a_{ij}, \; j \in J, \quad (17)$$

where $NoNSY_A$ – a set of the first route indices in the incidence matrix (12) that are not included in the coverage schedule; in this case, it is possible to determine a plurality of second indices

$j = j_{no} \in J_{no} \subset J$, which satisfy (17).

The redundancy or unused capabilities of the j-th edge can be estimated as

$$S(j) = \sum_{\forall i \in YesNSY_A} a_{ij}, \; j \in J_{yes} = J \setminus J_{no},$$

where $YesNSY_A$ - is the set of the first route indices in the incidence matrix (12) that are included in the coverage schedule.

In order that the covering problem converges rapidly to the final result, an estimate of the perspective power of the j-th edge is introduced [5]:

$$\tilde{W}(j) = W(i) - S(j),$$

where $W(i)$ is the cardinality of the i-th edge from which the branch is made; $S(j)$ – is the redundancy of the j-th edge that claims to be included in the coverage schedule.

We solve the problem of covering for each edge a graph (column of the matrix (12)). Each cover, consisting of the edges of the graph, allows you to control all graphical paths of penetration. Therefore, methodically, according to these edges of coatings, the options for placing real protective equipment will be designed, that is, the cover can be associated with some variant of protecting the risk object, which will be characterized by the probability of protection and cost.

VII. Selection of the technical implementation of security functions

From the point of view of system analysis [5], the process of obtaining all the paths of penetration and forming many variants of their coverages is the task of decomposing a complex problem into simple subtasks. After this task, according to the theory of system analysis, the problem of synthesis of the optimal variant of the technical implementation of security functions is solved.

The risk object is considered to be sufficiently protected [1,2] if, given the potential for overcoming of obstacles, the probability of a successful attack (risk probability, probability of failure or insecurity of the risk object) $P_A^Y = \left(1 - P_3^Y\right)$ is less than the permissible value $P_{A-ДОП}^Y$, i.e.

$P_3^Y \geq 1 - P_{A-ДОП}^Y$ - achievability condition,

where P_3^Y – the probability of successful opposition to the attack (security, the probability of failure of the attack, the probability of success of the risk object) the object of risk.

In [4] a new form of the achievability condition was obtained, oriented to the cloud intellectual realization –

$$P_3^Y \geq P_{A-ИЗВ}^Y,$$

where $P_{A-ИЗВ}^Y$ – is the probability of success of the risk object on the basis of the scheme from Fig. 1 calculated according to the methodical recommendations [4] similarly to [1] with the help of the B-polynomial for $X_1^{ИЗВ} \div X_{10}^{ИЗВ}$ known security functions.

There are two possible ways of synthesizing the optimal variant of the technical implementation of security functions:

– 1 – minimize the cost of the technical implementation of the security functions for a given probability of failure of the attack (conditions of attainability);

– 2 – maximize the probability of success of the risk object (the attainability condition) against the cyber-attack at a given value of the cost spent on providing protection.

The methodical basis for solving the problem of synthesizing the optimal variant of the technical implementation of security functions in the first and second statements is the results obtained in [4]. In this work, new logical-probabilistic models for assessing the security of a risk object from a cyber-attack of an attacker have been developed. There are also formulated risk

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:12 Page 85

criteria for assessing the security of the object of risk of cyber-attack and suggested methodological recommendations for assessing the price of attack risk. The given results allow to carry out estimations of cost of expenses for technical realization of functions of security and to estimate probability of failure of attack.

VIII. Conclusion

Theoretical investigations have been carried out, which have common application, and enable the machine to develop solutions for the synthesis of the functions of security the risk object on the basis of the following new results.

It is shown that since cyber-attack security functions involve causal transitions, it is natural to interpret such transitions in the form of oriented graph, which, in turn, can be represented as an incidence matrix.

Formalized representation of security functions in the form of a Boolean polynomial of the events of the cyber-attack process.

A procedure for simulating paths to the success of a cyber-attack based on scenarios of the cyber-attack process and the transitions between these processes has been developed.

Three criteria were obtained for the lack of scenarios for the success of cyber-attacks.

A machine-oriented graph method for the synthesis of security functions was developed, based on a graphical representation of attack scenarios and a new application of the branch and boundary method. As a result of applying this method, graph ways to the success of cyber-attack are suppressed.

Two statements of the problem of the optimal variant for the synthesis of the technical implementation of security functions are formulated and approaches to their solution are analyzed, depending on the cost of their implementation and the probability of success of the risk object.

References

1. Nazarov, A. (2007). Estimation of information safety level of modern infocommunication networks on basis of logic-probability approach. *Automation and Remote Control*, July 2007, Vol. 68. Issue 7, pp. 1165-1176, USA, doi: 10.1134/S0005117907070053.

2. Nazarov, A. (2010). Logical-and-probabilistic model for estimating the level of information security of modern information and communication networks. *Telecommunications and Radio Engineering*. Vol. 69. No. 16. pp. 1453-1463, USA, doi: 10.1615/TelecomRadEng.v**69**.i**16**.60.

3. Nazarov, A, Sychev, K. (2011). *Models and methods for calculating the indicators of quality of functioning of the equipment units and structural parameters of the network the next generation networks*. 2th edn, LLC Policom, Russia, Krasnoyarsk.

4. Nazarov, A. (2016). Assessment of security from information attacks. *Telecommunications*. No. 5, pp. 23-33.

5. Kostin V. (2017). Synthesis of the optimal placement of hardware for physical protection systems for critical facilities. *Information Technology*, Vol. 23. No. 1, pp. 41-49.

6. Nazarov, A. (2013). Objects of the possibility of classification of information security PSTN logic-based probabilistic approach. *Network journal*. Theory and Practice» BC/NW, no 2(23):11.1http://network-journal.mpei.ac.ru/cgi-bin/main.pl?l=ru&n=23&pa=11&ar=1.

СИНТЕЗ ФУНКЦИЙ ЗАЩИТЫ ОТ КИБЕР-АТАК

Назаров Алексей Николаевич, *ООО "СмартТек", Москва, Россия,* ***a.nazarov06@bk.ru***

Аннотация. Высочайшие темпы развития инфокоммуникационных технологий, охватывающих различные значимые для человечества предметные области, предъявляют новые требования по обеспечению информационной безопасности объектов риска. Кибер-атаки, как сложные процессы, основываются на новейших инфокоммуникационных технологиях, что обуславливает развитие интеллектуальных подходов противодействия им. Для применения методов искусственного интеллекта противодействия кибер-атакам используется подход на основе функций защиты объекта риска, позволяющий разработать методические рекомендации, ориентированные на потенциал облачных вычислений. Разрабатывается метод синтеза функций защиты объекта риска от кибер-атаки основе исчисления графов.

Ключевые слова: *кибер-атака, интеллектуальная информационная безопасность, искусственный интеллект, граф, облачные вычисления, функции защиты, модель, матрица инциденций, путь в графе, ветви, границы.*

Литература

1. *Nazarov A.N.* Estimation of information safety level of modern infocommunication networks on basis of logic-probability approach.// Automation and Remote Control, Volume 68 Issue 7, 2007, pp. 1165-1176.
2. *Nazarov A.N.* Logical-and-probabilistic model for estimating the level of information security of modern information and communication networks // Telecommunications and Radio Engineering, USA, 2010, Vol. 69, № 16, pp. 1453-1463.
3. *Назаров А.Н., Сычев К.И.* Модели и методы расчёта показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. 2-е изд., перераб. и доп. Красноярск: Изд-во ООО "Поликом", 2011. 491 с.
4. *Назаров А.Н.* Оценка защищенности от информационных атак // Телекоммуникации. 2016. № 5. С. 23-33.
5. *Костин В.Н.* Синтез оптимального размещения технических средств систем физической защиты критически важных объектов // Информационные технологии, № 1, т. 23, 2017. С. 41-49.
6. *Назаров А.Н.* О возможности классификации объектов информационной безопасности сети общего пользования на основе логико-вероятностного подхода // Электронный журнал "Вычислительные сети. Теория и практика" ("Network journal. Theory and Practice") BC/NW, 2013, № 2 (23):11.1 http://network- journal.mpei.ac.ru/cgi- bin/main.pl?l=ru&n=23&pa=11&ar=1.

Информация об авторе:
Назаров Алексей Николаевич, профессор, д.т.н., директор по науке и развитию ООО "СмартТек", Москва, Россия

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:12 Page 86

MODULAR TECHNOLOGY IN DESIGN OF FLEXIBLE COMPLEX SYSTEMS

Habeeb Khoder, *The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications (SPbSUT), Saint Petersburg, Russia,* ***h.khoder@list.ru***

Galina V. Verkhova, *The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications (SPbSUT), Saint Petersburg, Russia,* ***galina500@inbox.ru***

Sergej V. Akimov, *The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications (SPbSUT), Saint Petersburg, Russia,* ***akimov-sv@yandex.ru***

Keywords: *system design, modular technology, modular systems, integral structure, hierarchical construction, complex systems.*

Design can be considered as a basic stage in system lifecycle of artifact. So, firms pay a big attention to use the most effective design principles in order to achieve the perfect system. However, any system has to fulfill several purposes to be considered perfect: be flexible, extensible, stable, portable, effective, with sufficient functionality, easy to understand for the user and compatible with existing standards. Obviously, to create system with the above criteria is difficult. Nevertheless, modular technology helps to design such a system.

Modular construction gains an increasing importance with increasing complexity and reduced time for design cycle. Consequently, industries and manufacturers tend to use modular construction in order to improve their design and production strategies. Modularity can lead to a greater product variety, lower production costs and simplify the work on the project in team, distribute complex task into a few simple subtasks. As a result, many systems migrate toward increasing modularity. The objective of this article is to demonstrate the importance of modularity in design of flexible complex systems. So, in this paper, a number of researches done on modular design and development of modular systems are presented. We also review the concept and principles of modular technology used in systems design. In addition, we discuss the concept of modular and hierarchical modular system. Moreover, the combination between modular structure and integral structure is demonstrated.

Information about authors:

Habeeb Khoder, *PhD student, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications (SPbSUT), Saint Petersburg, Russia*

Galina V. Verkhova, *professor, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications (SPbSUT), Saint Petersburg, Russia*

Sergej V. Akimov, *associate professor, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications (SPbSUT), Saint Petersburg, Russia*

Для цитирования:

Кходер Х., Верхова Г.В., Акимов С.В. Модульная технология проектирования гибких сложных систем // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №9. С. 86-90.

For citation:

Khoder H., Verkhova G.V., Akimov S.V. (2017). Modular technology in design of flexible complex systems. *T-Comm*, vol. 11, no.9, pp. 86-90.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:12 Page 87

I. Introduction

Recently, there has been a significant attention of designer and producer to the modular technology in order to make complexity manageable and to enable parallel work. However, Modular technology as a design principle is used to build modular systems that offer several benefits in design domain such as flexibility, evolvability, upgrade, extension, easier assembly, reuse of parts, reduced order lead time, maintenance and repair.

In recent years, a number of researches have been done on modular design and development of modular systems. Vasawade, Deshmukh and Kulkari [1] presented a review on modularity in design. Hou and Qian [2] provided a selective maintenance model for modular systems in order to allow maintenance manager to make a decision in choosing part of the components to be maintained in the limited downtime. Heilemann and Culley [3] developed a capability audit assessing the capability of a company to create common modular system constructions in order to derive variety of different systems. Miraglia [4] presented modularity-integrality framework to reflect the possibility of combination between modular structure and integral structure. Martin, Nevado and Martinez [5] designed a low cost In-Circuit Test (ICT) based on programmable modular systems. Zakarian and Rushton [6] presented a methodology for development of modular electrical systems. Ostmann, Bruehl, Seckel and Lang [7] provided a concept for modular microsystems. However, there are other researches published in this domain and many works under research.

Rest of this article is organized as follows: Section 2 is about the concept of modularity in design. In Section 3, we present the principles of modular construction. Modular systems and hierarchical modular systems are discussed in Sections 4 and 5, respectively. The combination between modularity and integrality is demonstrated in Section 6. Finally, in Section 7, conclusion about this work is presented.

II. Modular technology

In general meaning, the concept of module refers to an integral, separable and isolated part. In technology, the module is an independent unit of complex engineering system that performs its own individual task. In other words, the module is an encapsulated set of elements that can be manipulated as a unit. However, anything consisting of clearly expressed parts which often can be removed and added without disrupting the whole thing is described as a modular thing. So, modular technology is used in various fields of activity: electronics, computer science, architecture; construction, and so on.

The main stages in life cycle of any artifact are: design, production and use. Consequently, there are three basic types of modular technology: modularity in design, modularity in production and modularity in use. In the design domain, modularity is a design strategy in which the process is distributed across separate modules created independently and then combined together to form the solution of the process. In the production domain, modularity is used to describe the use of common standardized components to produce product variants. However, when consumers use different components and match them together in order to implement goods addressing their requirements and needs, this is called modularity in use.

Since modular technology provides flexibility in response to requirements of design changes and ability to produce a variety of systems through combination of modular units, it is a power tool for constructing and design of modern and complex systems. As a result, Standardization based on modular technology will become a real basis in all domains of engineering systems.

III. Principles of Modular design

Modular design has to satisfy two basic criteria: composition and decomposition. The composition does not depend on the decomposition. In fact, these criteria often conflict with each other.

In order to execute a complicated big task, it is necessary to decompose it into several simpler subtasks isolated from each other. Thus, it is possible to control the quality execution of each subtask separately, which greatly simplifies the process of high-quality solution of the task. However, the process dividing the task into subtasks and the subtasks into more simple subtasks until it is possible to find their solutions is called decomposition.

There are a set of subtasks appeared in the process of decomposition. The solutions of these subtasks form modules subjected to certain rules:

- The function of the module has to be understood without examining its internal structure.
- The module should be designed for reuse in different tasks.
- The module should be self-sufficient, but not overabundant. Overabundance is a sign of incomplete decomposition.
- The interface of the module has to be standardized.

The next step in modular design is to combine the solutions (modules) of all subtasks in a single solution. The process combining between modules with conserving their independence is called composition. In the process of composition, a few rules have to be followed:

- Modules should form a simple unified composition.
- Changes in the module should not affect other modules.
- Error in one module should not be extended to other modules.
- The connections between modules should be minimized.
- Functional change is achieved by creating new modules on the basis of existing ones.

It is necessary to know that the process of modular design is recursive. In other words, it is impossible to make a complete decomposition or composition task from the first time. We need to reperform the decomposition, rediscover the relationships, correct the composition, and so on.

IV. Modular systems

Modular construction provides the ability to achieve higher product variety at low cost through the standardization and combination of assemblies. Moreover, Modular architecture is used to tackle the problem of increasing complexity that is the biggest problem in design of complex systems. Consequently, complex system can be represented as a modular system providing flexibility in design.

Modular system is the output of process of modular design. Thus, modular systems are composed of subsystems or modules that can be reconfigured to build a variety of systems to suit user requirements and needs. While Fig. 1 shows a linear structure between n elements, Fig. 2 illustrates a modular structure between n elements [8].

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:13 Page 88

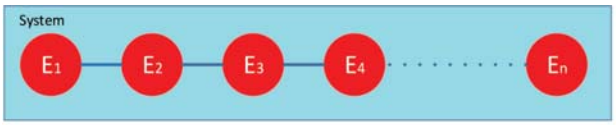


Fig. 1. A linear structure between n elements

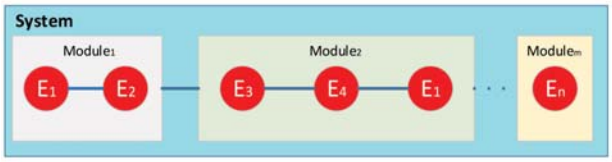


Fig. 2. A modular structure between n elements

In order to design of modular systems, standard modules treated like individual components are developed to represent individual specific functions. However, the interaction and communication between these modules should be based on standard serial busses like USB (Universal Serial Bus), VMEbus (Versa Modular Eurocard bus) [9] or others busses.

V. Hierarchical modular systems

Hierarchical construction is one of the main structural systems used to overcome the problem of complexity in systems design. In hierarchical structure, system is composed of interrelated subsystems that, in turn, have their own subsystems, and so on until we reach to the elementary subsystems. Fig. 3 shows construction between n elements represented as a hierarchical structure [8].

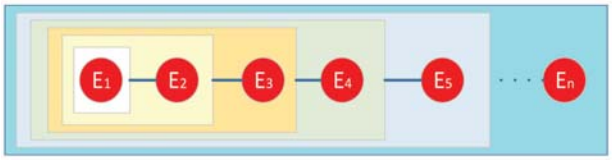


Fig. 3. A hierarchical structure between n elements

It is well known that construction of large complex systems such as space systems takes too much time and cost a lot of money. Sometimes it is necessary to reconfigure and modify such systems to respond to technical, environmental and social changes. So, structure systems need to take into account such various changes in order to save time and money.

However, in order to realize such adaptability and flexibility into structure systems, hierarchical modular structure [10] is suggested. The hierarchical modular structure is a combination of hierarchical structure and modular structure. So, this structure consists of a number of identically shaped modules embedded in several layers of hierarchy. The hierarchical modular structure can construct various sizes and shapes of systems with limited resources by using assembly rules. This structure is used in design of future large space systems [11]. Fig. 4 illustrates construction between n elements represented in a hierarchical modular structure.

VI. The combination of modularity and integrality

Integrality is a design strategy in which the system's components behave consistently as a whole. Consequently, if system's components consistently pull together to determine the system's behavior along a given dimension, then this system is integral along that dimension.

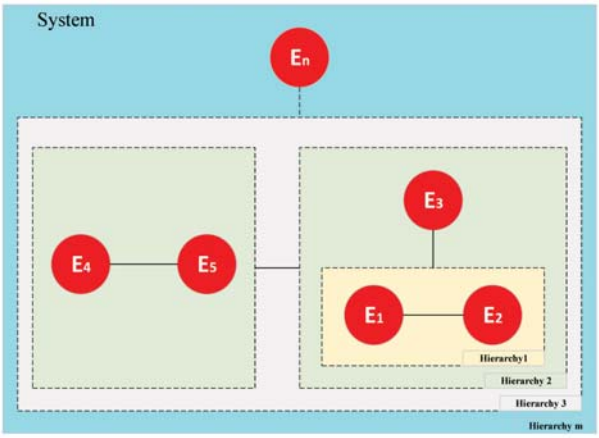


Fig. 4. A hierarchical modular structure between n elements

Modularity and integrality are the fundamental characteristics of technological systems. Modularity provides higher flexibility and adaptability for system architecture, while integrality provides more efficiency and control for it.

Moreover, modularity reflects the different features of independence among components, while integrality covers aspects that affect the relationship between the element level and the system level. Thus, these two fundamental properties of systems are very important in design of complex systems.

However, it was quite common that modularity and integrality are opposite architectural properties of systems. In others words, increasing modularity requires loss of integrality, while increasing integrality needs decreasing modularity. This idea was rebutted by Miraglia [4] in 2014.

He presented evidences showing that treating modularity and integrality as mutually exclusive properties is fundamentally wrong. Miraglia highlighted the problems with the modularity–integrality trade-off and provided a new concept "The Modularity–Integrality Framework" that reflects the interplay between modularity and integrality. Fig 5 represents the four main domains formed of the interplay between modularity and integrality within a framework.

The combination between modularity and integrality is essential factor to dynamics and development of complex systems. When these two fundamental properties of systems act simultaneously, then effective system reconfiguration can be implemented. On the one hand, modularity provides system decomposability and flexibility that directly impacts the ease of architectural innovation and recombination. On the other hand, integrality provides system efficiency and management that has a direct impact on the effectiveness of architectural innovation and recombination.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:13 Page 89

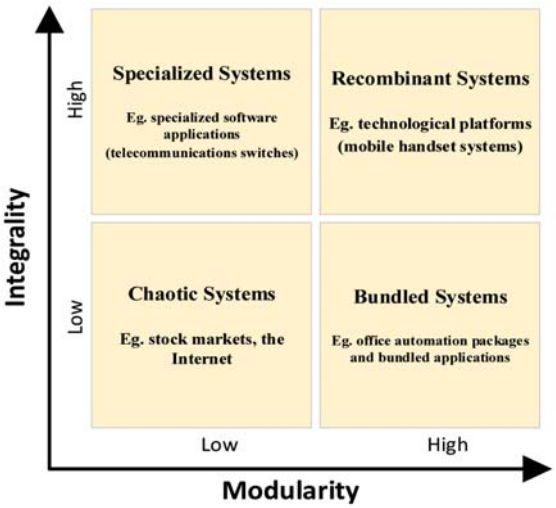


Fig. 5. System topology based on modularity-integrality [4]

VII. Conclusion

This paper showed the significant benefits of using modular system architecture as a strategy in design of flexible complex systems. Different types of system structures in design such as modular structure, integral structure, hierarchical structure and hierarchical modular structure were presented. However, the concept of modularity and principles of modular design were discussed in details. Moreover, the combination of modular structure and another structure in order to form an innovative system structure with more adaptability and flexibility in design was demonstrated.

Acknowledgment

The author would like to thank Dr. Maria Yatsenko for contributing to this work by providing valuable support and insights.

References

1. Vasawade, R., & Deshmukh, B., & Kulkarni, V. (2015). Modularity in design: A review. *IEEE International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD)*, pp. 1-4.
2. Hou, J., & Qian, Y. (2016). Selective maintenance model for modular system. *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp. 1845-1849.
3. Heilemann, M., & Culley, S. (2015). Capability audit for modular system development. *IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)*, pp. 398-405.
4. Miraglia, S. (2014). System Architectures and Innovation: the Modularity-Integrality Framework. *United Kingdom: Cambridge Service Alliance.*
5. Martín, J., & Nevado, A., & Martínez, A. (2016). Low cost programmable modular system to perform In-Circuit Test (ICT). *Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE)*, pp. 1-7.
6. Zakarian, A., & Rushton, G. (2001). Development of modular electrical systems. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 6, no. 4, pp. 507-520.
7. Ostmann, A., & Bruehl, B., & Manessis, D., & Seckel, M., & Lang, K. (2011). System-in-Packages with embedded components for modular systems. *6th International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference (IMPACT)*, pp. 294-297.
8. Efatmaneshnik, M., & Ryan, M. (2015). System construction cost of hierarchical-modular structures. *Annual IEEE Systems Conference (SysCon) Proceedings*, pp. 153-157.
9. Ricks, K., & Jackson, D. (2006). A case for the VMEbus architecture in embedded systems education. *IEEE Transactions on Education*, vol. 49, no. 3, pp. 332-345.
10. Levin, M. (2015). *Modular System Design and Evaluation*. Springer International Publishing, Switzerland.
11. Kishimoto, N., & Natori, M. (2006). Hierarchical modular structures and their geometrical configurations future large space Systems. *International Association for Shell and Spatial Structures (IASS)*, vol. 47, no. 3, pp. 303-310.

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:13 Page 90

МОДУЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИБКИХ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Кходер Хабиб, *СПБГУТ, Санкт-Петербург, Россия,* ***h.khoder@list.ru***
Верхова Галина Викторовна, *СПБГУТ, Санкт-Петербург, Россия,* ***galina500@inbox.ru***
Акимов Сергей Викторович, *СПБГУТ, Санкт-Петербург, Россия,* ***akimov-sv@yandex.ru***

Аннотация
Проектирование можно рассматривать как базовую стадию в жизненном цикле артефакта. Таким образом, фирмы уделяют большое внимание использованию самых эффективных принципов проектирования для достижения совершенной системы. Тем не менее, совершенная система должна выполнять своё предназначение, быть гибкой, расширяемой, с достаточной функциональностью, устойчивой и понятной для пользователя, совместимой с существующими стандартами, переносимой на другие платформы и эффективной. Очевидно, что создать систему с перечисленными критериями достаточно сложно. В решении данной задачи помогает модульная технология. Модульная конструкция приобретает все большее значение с увеличением сложности и сокращением времени цикла проектирования. Следовательно, промышленность и мануфактуры стремятся использовать модульную конструкцию, чтобы улучшить свои стратегии проектирования и производства. Модульность может привести к большему разнообразию продуктов, более низким издержкам производства и упростить работу над проектом в команде, распределить сложную задачу на несколько простых подзадач. В результате, многие системы берут курс в сторону увеличения модульности. Цель данной статьи – продемонстрировать значение модульности при проектировании гибких сложных систем. Представлен ряд исследований по модульному проектированию и разработке модульных систем. Также рассмотрена концепция и принципы модульной технологии, используемой при построении систем. Кроме того, обсуждена концепция модульной и иерархической модульной систем. В последней части статьи показана комбинация между модульной и интегральной структурой.

Ключевые слова: *проектирование, модульная технология, модульные системы, интегральная структура, иерархическая конструкция, сложные системы.*

Литература

1. *Васаваде Р., Дешмук Б., Кулкарни В.* Модульность в проектировании: обзор // IEEE International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD). 2015. С. 1-4.
2. *Хои Ж., Цянь Я.* Модель выборочного обслуживания модульной системы // IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. 2016. С. 1845-1849.
3. *Хилеман М., Калли С.* Аудит возможностей для модульной разработки системы // IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE). 2015. С. 398-405.
4. *Мираглиа С., Калли С.* Системные архитектуры и инновации: Модульность-интегральность Фреймворк // United Kingdom: Cambridge Service Alliance. 2014.
5. *Мартин Ж., Невадо А., Мартинес А.* Низкозатратная программируемая модульная система для проведения внутрисхемного тестирования (ИКТ) // Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE). 2016. С. 1-7.
6. *Закарян А., Руштон Ж.* Разработка модульных электрических систем // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. 2001. Том 6. № 4. С. 1-7.
7. *Остман А., Брюль Б., Манесис Д., Сикль М., Ланг К.* Система-в-пакеты с встроенными компонентами для модульных систем // 6th International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference (IMPACT). 2011. С. 294-297.
8. *Ифатманишник М., Райан М.* Стоимость построения системы иерархически-модульных структур // Annual IEEE Systems Conference (SysCon) Proceedings. 2015. С. 153-157.
9. *Рикс К., Джексон Д.* Случай архитектуры VMEbus в образовании встроенных систем // IEEE Transactions on Education. 2006. Том 49. № 3. С. 332-345.
10. *Левин М.* Модульная система проектирования и оценки // Springer International Publishing, Швейцария. 2015.
11. *Кишимото Н., Натори М.* Иерархические модульные структуры и их геометрические конфигурации будущих больших космических систем // International Association for Shell and Spatial Structures (IASS). 2006. Том 47. № 3. С. 303-310.

Информация об авторах:
Кходер Хабиб, аспирант кафедры автоматизации предприятий связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича СПБГУТ, Санкт-Петербург, Россия
Верхова Галина Викторовна, д.т.н., профессор, зав. кафедрой автоматизации предприятий связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия
Акимов Сергей Викторович, к.т.н., доцент кафедры автоматизации предприятий связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:14 Page 91

III

Всероссийская научно-техническая конференция
"ПРОБЛЕМЫ СВЧ ЭЛЕКТРОНИКИ им. В.А.Солнцева 2017"

8-9 ноября 2017 г. город Москва, ул. Таллинская, д.34

Рабочие языки конференции: русский, английский

III Всероссийская научно-техническая конференция "Проблемы СВЧ электроники им. В.А. Солнцева 2017" проводится Московским институтом электроники и математики им. А.Н.Тихонова Национального исследовательского университета "Высшая школа экономики" совместно с компанией KEYSIGHT Technologies при участии Издательского дома "Медиа-Паблишер".

Конференция посвящена фундаментальным и прикладным проблемам вакуумной и плазменной, твердотельной и полупроводниковой электроники СВЧ, рассматривавшимся в разных аспектах на заседаниях Всероссийского научного семинара "Проблемы электроники по методам СВЧ электроники" и Всероссийского научного семинара "Электродинамика периодических и нерегулярных структур", начиная с 1973 года.

На конференции будут заслушаны приглашенные обзорные доклады, оригинальные сообщения о новых результатах исследований и разработок в виде устных и стендовых докладов, а также предполагается обсуждение актуальных вопросов теории и технических аспектов разработки и применения вакуумных и плазменных, твердотельных и полупроводниковых приборов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов.

Программа работы Всероссийской научно-технической конференции распределена по следующим направлениям:

- вакуумные и плазменные электронные СВЧ генераторы и усилители
- твердотельные и полупроводниковые приборы СВЧ
- специализированные электродинамические структуры (замедляющие системы, метаматериалы, трансформаторы мод)
- пассивные СВЧ-устройства, антенны и фазированные антенные решетки
- технологии и материалы СВЧ электроники
- метрология и измерения на СВЧ
- применение приборов и устройств СВЧ электроники

В рамках конференции планируются выступления ведущих специалистов в области СВЧ электроники, представляющих высшие учебные заведения, научно-исследовательские институты и предприятия, государственные и частные фирмы и компании.

Всем участникам, выступившим с докладами, будут вручены сертификаты.

Сборник трудов конференции будет опубликован на сайтах МИЭМ НИУ ВШЭ и издательского дома "Медиа Паблишер" в разделе "Архив". Электронная версия сборника будет доступна для скачивания.

Лучшие доклады будут рекомендованы к публикации в виде статей в журналах из перечня ВАК: "Радиотехника и электроника", "T-Comm: Телекоммуникации и транспорт" и "Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли".

Nom-9-2017-2.qxd 02.11.2017 18:14 Page 92

Российское НТОРЭС имени А.С. Попова, совместно с Международным Союзом Электросвязи (ITU), Институтом Инженеров Электротехники и Электроники (IEEE), Московским Техническим Университетом Связи и Информатики (МТУСИ), Белорусской государственной академией связи (БГАС), при поддержке издательского дома "Медиа Паблишер"

проводят международную научно-техническую конференцию

"Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях"

"СИНХРОИНФО 2018"

2-3 июля 2018 года, г. Минск, ул. П. Бровки, 14

С 2017 года конференция внесена в официальный перечень конференций IEEE
(Conference Record #43613)

Доклады участников конференции будут включены в Программу Публикаций Конференций IEEE (IEEE Conference Publication Program (CPP)) и размещены на сайте IEEE.
Лучшие доклады войдут в сборник трудов конференции, который размещается на платформе SCOPUS

На конференции обсуждаются актуальные вопросы теории и технических аспектов построения перспективных инфокоммуникационных систем и устройств. По итогам конференции издается сборник трудов. Доклады участников публикуются в 4-х номерах журнала "Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов" (на платформе РИНЦ в открытом доступе). Лучшие доклады будут рекомендованы к публикации в виде статей в журналах из перечня ВАК: "Электросвязь", "T-Comm: Телекоммуникации и транспорт", "Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли". Для участников конференции организуется культурная программа.

Всем участникам, выступившим с докладами, будут вручены сертификаты.
Заочное участие в конференции и в индексе IEEE не предусмотрено!

Оргкомитет конференции:

111024, Москва, ул. Авиамоторная, д. 8, корп. 1, офис 512
Тел.: +7 (495) 957-77-43; +7(916) 591-55-36; ovd@media-publisher.ru

Информационные партнеры конференции

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ Hi-tech Earth Space RESEARCH

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ T•Comm ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И ТРАНСПОРТ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ, ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ