

Том VIII. № 4-2016

Издается с 2009 года
Издательская лицензия ПИ № ФС 77-60899
Язык публикаций: русский, английский
Периодичность выхода – 6 номеров в год
Сайт в Интернете: www.H-ES.ru
E-mail: HT-ESResearch@yandex.ru

УЧРЕДИТЕЛЬ:
ООО «Издательский дом Медиа Паблишер»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:
Константин Легков

ИЗДАТЕЛЬ:
Светлана Дымкова

ПРЕДПЕЧАТНАЯ ПОДГОТОВКА:
ООО «H&ES Research»

АДРЕС РЕДАКЦИИ:
111024, Россия, Москва,
ул. Авиамоторная, д. 8, офис 512-514

194044, Россия, Санкт-Петербург,
Лесной Проспект, 34-36, корп. 1,
Тел.: +7(911) 194-12-42

Журнал H&ES Research зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране
культурного наследия.

Мнения авторов не всегда совпадают с
точкой зрения редакции. За содержание
рекламных материалов редакция ответ-
ственности не несет.

Материалы, опубликованные в журнале –
собственность ООО «ИД Медиа
Паблишер». Перепечатка, цитирование,
дублирование на сайтах допускаются
только с разрешения издателя.

ПЛАТА С АСПИРАНТОВ ЗА ПУБЛИКАЦИЮ
РУКОПИСИ НЕ ВЗИМАЕТСЯ

Всем авторам, желающим разместить
научную статью в журнале, необходимо
оформить ее согласно требованиям и на-
править материалы на электронную почту:
HT-ESResearch@yandex.ru.

С требованиями можно ознакомиться
на сайте: www.H-ES.ru.

© ООО «ИД Медиа Паблишер» 2016

H&ES Research – один из ведущих рецензируемых научных журналов, в котором публикуются основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Журнал освещает достижения и проблемы российских инфокоммуникаций, внедрение последних достижений отрасли в автоматизированных системах управления, развитие технологий в информационной безопасности, исследования космоса, развитие спутникового телевидения и навигации, исследование Арктики. Особое место в издании уделено результатам научных исследований молодых ученых в области создания новых средств и технологий космических исследований Земли.

Научно-технический журнал **H&ES Research** предназначен прежде всего для специалистов в области современных инфокоммуникационных технологий и автоматизированных систем управления, средств космических исследований Земли и информационной безопасности. В журнале публикуются новости о событиях в вышеуказанных областях, репортажи и интервью ведущих компаний, мнения специалистов, новые технологии, инновационные разработки, оборудование и решения, аналитические статьи, маркетинговые исследования и др.

Журнал H&ES Research входит в Перечень ВАК и в систему российского индекса научного цитирования (РИНЦ), а также включен в Международный классификатор периодических изданий (ISSN 2412-1363 (Online), 2409-5419 (Print)).

Тематика публикуемых статей в соответствии с перечнем групп специальностей научных работников по Номенклатуре специальностей:

- 01.01.00 Математика
- 05.07.00 Авиационная и ракетно-космическая техника
- 05.11.00 Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы
- 05.12.00 Радиотехника и связь
- 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление

ТЕМАТИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ

- Вопросы развития автоматизированных систем управления
- Физико-математическое обеспечение разработки новых технологий
- Развитие автоматизированных систем управления технологическим процессом
- Вопросы исследования космоса
- Телекоммуникационные технологии и технические новинки систем подвижной связи
- Перспективы развития единого инфокоммуникационного пространства
- Использование радиочастотного спектра в системах подвижной связи
- Антенно-фидерное оборудование
- Спутниковое телевидение, системы спутниковой навигации, GLONASS, построение навигационных систем GPS
- Вопросы развития геодезии и картографии
- Информационная и кибербезопасность
- Вопросы исследования Арктики
- Волоконно-оптическое оборудование и технологии
- Метрологическое обеспечение
- Программное обеспечение и элементная база для сетей связи
- Производители, поставщики и дистрибьюторы телекоммуникационного оборудования
- Работа ответственных ассоциаций, региональных и координирующих операторов
- Правовое регулирование инфокоммуникаций, законодательство в области связи
- Экономика связи, конвергенция сетей, универсальные коммуникации
- Выставки, форумы, конференции, семинары, интервью (оригинальные и новые проекты, итоги деятельности, проблемы отрасли и пути их решения и т.д.)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- БОБРОВСКИЙ В.И.**, доктор технических наук, доцент
БОРИСОВ В.В., доктор технических наук, профессор, Действительный член академии военных наук РФ
БУДКО П.А., доктор технических наук, профессор
БУДНИКОВ С.А., доктор технических наук, доцент, Действительный член Академии информатизации образования
ВЕРХОВА Г.В., доктор технических наук, профессор
ГОНЧАРОВСКИЙ В.С., доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ
КОМАШИНСКИЙ В.И., доктор технических наук, профессор
КИРПАНЕВ А.В., доктор технических наук, доцент
КУРНОСОВ В.И., доктор технических наук, профессор, академик Арктической академии наук, член-корреспондент Международной академии информатизации, академик Международной академии обороны, безопасности и правопорядка, Действительный член Российской академии естественных наук
МАНУЙЛОВ Ю.С., доктор технических наук, профессор
МОРОЗОВ А.В., доктор технических наук, профессор, Действительный член Академии военных наук РФ
МОШАК Н.Н., доктор технических наук, доцент
ПРОРОК В.Я., доктор технических наук, профессор
СЕМЕНОВ С.С., доктор технических наук, доцент
СЕНИЦЫН Е.А., доктор технических наук, профессор
ШАТРАКОВ Ю.Г., доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ

Отдел развития и рекламы: Ольга Дорошкевич, ovd@media-publisher.ru, тел.: 8(916) 951-55-36.

H&ES Research – one of leading reviewed scientific journal in whom the main scientific results of the dissertation on competition of a scientific degree of the doctor and the candidate of science are published. The journal covers achievements and problems of the Russian infocommunication, introduction of the last achievements of branch in automated control systems, development of technologies in information security, space researches, development of satellite television and navigation, research of the Arctic. The special place in the edition is given to results of scientific researches of young scientists in the field of creation of new means and technologies of space researches of Earth.

H&ES Research – journal for specialists in the field of modern information and communication technologies and automated systems management means for Space Research of the Earth and information security. The journal publishes news about events in the above areas, reports and interviews of the leading companies, the opinions of experts, new technologies, innovations, products and solutions, analytical articles, market research and others.

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. IF of the Russian Science Citation Index.

Subject of published articles according to the list of branches of science and groups of scientific specialties in accordance with the Nomenclature of specialties:

- 01.01.00 Mathematics
- 05.07.00 Aviation, space-rocket hardware
- 05.11.00 Instrument engineering, metrology and information-measuring devices and systems
- 05.12.00 RF technology and communication
- 05.13.00 Informatics, computer engineering and control

TOPICAL COLUMNS

- Automated control systems
- Physical and mathematical software development of new technologies
- Development of automated process control systems
- Questions of space exploration
- Telecommunication technology and technical innovations of mobile systems
- Prospects for unified info communication space
- Use of a radio-frequency range in systems of mobile communication
- Antenna-feeder equipment
- Satellite TV, satellite navigation system, GLONASS, GPS navigation systems construction
- Issues of Geodesy and Cartography
- Information and cyber security
- Questions Arctic research
- Fiber-optic equipment and technology
- Metrological maintenance
- Software and electronic components for communication networks
- Manufacturers, suppliers and distributors of telecommunications equipment
- National associations, regional and coordinating operators
- Legal regulation of Infocomm, legislation in the communication field
- Economy of communications, networks convergence, universal communication
- Exhibitions, forums, conferences, seminars, interview (original and new projects, results of activity, a problem of branch and a way of their decision, etc.)

EDITORIAL BOARD

BOBROWSKY V.I., Ph.D., associate professor
BORISOV V.V., Ph.D., professor
BUDKO P.A., Ph.D., professor
BUDNIKOV S.A., Ph.D., associate professor, Actual Member of the Academy of Education Informatization
VERHOVA G.V., Ph.D., professor
GONCHAREVSKY V.S., Ph.D., professor, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation,
KOMASHINSKIY V.I., Ph.D., professor
KIRPANEV A.V., Ph.D., associate professor
KURNOSOV V.I., Ph.D., professor, Academician of Academy of Sciences of the Arctic, corresponding member of the International Academy of Informatization, International Academy of defense, security, law and order, Member of the Academy of Natural Sciences
MANUILOV Y.S., Ph.D., professor
MOROZOV A.V., Ph.D., professor, Actual Member of the Academy of Military Sciences
MOSHAK N.N., Ph.D., associate professor
PROROK V.Y., Ph.D., professor
SEMENOV S.S., Ph.D., associate professor
SINICYN E.A., Ph.D., professor
SHATRAKOV Y.G., Ph.D., professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation

Development and advertizing department: Olga Doroshkevich, ovd@media-publisher.ru, tel.: 8(916) 951-55-36.

H&ES RESEARCH

Vol. VIII. No. 4-2016

It is published since 2009
 Publishing license ПИ № ФС 77-60899
 Language of publications:
 Russian, English
 Periodicity – 6 issues per year
 Site on the Internet: www.H-ES.ru
 E-mail: HT-ESResearch@yandex.ru

FOUNDER: «Media Publisher», LLC
 EDITOR IN CHIEF: Konstantin Legkov
 PUBLISHER: Svetlana Dymkova
 PREPRESS: «H&ES Research», JSC

ADDRESS OF EDITION:
 111024, Russia, Moscow,
 st. Aviamotornaya, 8, office 512-514

194044, Russia, St. Petersburg,
 Lesnoy avenue, 34-36, housing 1,
 Phone: +7 (911) 194-12-42

Journal H&ES Research has been registered by the Federal service on supervision of legislation observance in sphere of mass communications and cultural heritage protection. The opinions of the authors don't always coincide with the point of view of the publisher. For the content of ads, the editorial Board is not responsible. All articles and illustrations are copyright. All rights reserved. No reproduction is permitted in whole or part without the express consent of Media Publisher Joint-Stock company




GRADUATE STUDENTS FOR PUBLICATION OF THE MANUSCRIPT WILL NOT BE CHARGED

All authors wishing to post a scientific article in the journal, you must register it according to the requirements and send the materials to your email: HT-ESResearch@yandex.ru. The requirements are available on the website: www.H-ES.ru.

© «Media Publisher», LLC 2016

«H&ES RESEARCH – HIGH TECHNOLOGIES IN EARTH SPACE RESEARCH» JOURNAL

WWW.H-ES.RU

 HES_Research  HES-Research
 club55425245



НПЦ ИРС

Научно-производственный центр
Информационных региональных систем

▶ npcirs.ru

Закрытое акционерное общество "Научно-производственный центр информационных региональных систем" является предприятием, разрабатывающим автоматизированные системы специального назначения.

Основными направлениями нашей деятельности являются:

- проектирование, создание и ремонт автоматизированных систем управления и их составных частей, систем обработки данных, программного обеспечения, информационных систем для государственных организаций и коммерческих компаний;
- разработка общесистемного и прикладного ПО, внедрение и сопровождение информационных систем;
- защита информации в системах управления, локальных вычислительных сетях, программно-аппаратных комплексах, телекоммуникационных системах;
- производство и поставка технических средств, в офисном и защищенном исполнении;
- создание, внедрение и сопровождение оперативных и учетных систем любой сложности;
- анализ автоматизированных систем на предмет разработки к ним классификаторов и нормативно-справочной информации;
- разработка проектов и создание глобальных, корпоративных, локальных телекоммуникационных систем и структурированных кабельных сетей.

Создаваемые предприятием средства (комплексы средств автоматизации, программные и программно-информационные комплексы, информационные изделия) эксплуатируются в различных государственных органах: в органах военного управления Министерства обороны РФ, а также на предприятиях, в организациях, в органах местного самоуправления субъектов РФ, занимающихся воинским учетом.

Научные исследования в сфере КНСИ позволяют нам качественно анализировать автоматизированные системы и разрабатывать к ним классификаторы и нормативно-справочную информацию.

На данный момент уже имеющиеся разработки позволяют:

- создавать классификаторы по единым правилам, независимо от их содержимого;
- создавать массивы классификационной, нормативно-справочной информации в виде эталонных и контрольных экземпляров;
- создавать и вести централизованный банк УММ классификаторов (нормативные документы кодирования сведений);
- комплектовать массивы КНСИ для поставки на объекты, в части касающейся;
- проводить учет КНСИ и поставку на объекты автоматизации;
- централизованно вносить изменения в КНСИ;
- синхронизировать взаимодействие объектов, использующих классификаторы (КНСИ) и УФД;
- обеспечить совместимость данных баз данных объектов;
- обеспечить обмен базами данных между различными автоматизированными системами с территориально разнесенными источниками информации.

Коллектив ЗАО "НПЦ ИРС" образован на основе коллектива Государственного унитарного предприятия. Унаследовав его опыт научно-производственной деятельности, профессиональные знания коллектива специалистов, который целенаправленно занимается проблематикой автоматизации деятельности должностных лиц органов военного управления Вооруженных Сил РФ и разработкой единого информационного обеспечения автоматизированных систем военного назначения более 15 лет, выполняя как теоретические, так и практические работы в этой области.



НПЦ ИРС

Научно-производственный центр
Информационных региональных систем

▶ npcirs.ru

Телефон: 8(800)100-40-90
E-mail: administrator@npcirs.ru

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА	
Арутюнян Р.В. Новый подход к редукции многомерных линейных краевых задач к эквивалентным граничным интегральным уравнениям	6
АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА	
Аверкиев Н.Ф., Власов С.А., Житников Т.А., Кульвиц А.В. Формирование структуры баллистически связанной группы космических аппаратов дистанционного зондирования земли	11
Минаков Е.П., Тарасов А.Г. Зонный подход к оцениванию характеристик робототехнических систем и комплексов ликвидации экстремальных ситуаций при подготовке и проведении пусков ракет космического назначения	17
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ	
Миронов А.Н., Новиков А.Н., Малахов А.В. Индивидуально-групповое прогнозирование остаточного ресурса измерительных комплексов по экономическому критерию	25
РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ	
Гаврилов И.В. Особенности определения показателей защищённости системы защиты речевой информации	31
Степанов С.Н., Саламех Немер Построение и анализ обобщенной модели передачи мультисервисного трафика реального времени в сетях связи	37
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ	
Анисимов О.В., Курчидис В.А. Представление процесса технического диагностирования на основе пространства свойств радиоэлектронной аппаратуры	45
Бирюков Д.Н., Глухов А.П., Сабилов Т.Р., Пилькевич С.В. Модель изменения доступности знаний, представленных в памяти киберсистемы, обеспечивающей нейтрализацию деструктивных воздействий на объекты критической информационной инфраструктуры	56
Гнидко К.О. Метод управления топологией социальной сети с целью предотвращения неконтролируемого эпидемиологического распространения информации между узлами	64
ПУБЛИКАЦИИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ	
Красов А.В., Левин М.В., Штеренберг С.И., Исаченков П.А. Модель управления потоками трафика в программно-определяемой сети с изменяющейся нагрузкой	70

CONTENTS

6	MATHEMATICS Harutyunyan R.V. A new approach to the reduction of multidimensional linear boundary value problems for an equivalent boundary integral equations
11	AVIATION, SPACE-ROCKET HARDWARE Averkiev N.F., Vlasov S.A., Zhitnikov T.A., Kulvic A.V. Formation of structure ballistically linked group of remote sensing spacecrafts
17	Minakov E.P., Tarasov A.G. Zone approach to the evaluation of the characteristics of robotic systems and complexes liquidation of extreme situations in the preparation and launch a space rockets
25	INSTRUMENT ENGINEERING, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES AND SYSTEMS Mironov A.N., Novikov A.N., Malakhov A.V. Individual and group forecasting residual resource of measuring complexes by economic criterion
31	RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION Gavrilov I.V. Features definitions of indicators protected speech information security
37	Stepanov S.N., Salameh Nemer. The construction and analysis of generalized network model of multiservice real-time traffic transmission
45	INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL Anisimov O.V., Kurchidis V.A. Representation of technical diagnosis process based on the space of radio electronic equipment properties
56	Biryukov D.N., Gluhov A.P., Sabirov T.R., Pilkevich S.V. Model of change accessible knowledge, in-memory representation Cybersystems to neutralize the destructive effects on critical information infrastructure objects
64	Gnidko K.O. Method of social network topology management in order to prevent uncontrolled epidemiological dissemination of information between nodes
70	PUBLICATIONS IN ENGLISH Krasov A.V., Levin M.V., Shterenberg S.I., Isachenkov P.A. Traffic flow management model in software-defined networks with unequal load metric

НОВЫЙ ПОДХОД К РЕДУКЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ЛИНЕЙНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ К ЭКВИВАЛЕНТНЫМ ГРАНИЧНЫМ ИНТЕГРАЛЬНЫМ УРАВНЕНИЯМ

Арутюнян

Роберт Владимирович,

доцент кафедры

математического анализа

Московского технического университета

связи и информатики,

г. Москва, Россия,

Rob57@mail.ru

Ключевые слова:

дифференциальные уравнения

в частных производных; система; краевая задача; редукция; граничные интегральные уравнения.

АННОТАЦИЯ

Описан новый метод редукции многомерных линейных краевых задач для систем дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка к эквивалентным граничным интегральным уравнениям. Метод эффективен для систем большой размерности и позволяет эффективно автоматизировать редукцию при помощи систем аналитических вычислений на ЭВМ. Формулы метода обобщают известные соотношения Гюйгенса для уравнений Максвелла, Сомилиана для задач теории упругости и др. Предложенный алгоритм состоит из следующих этапов. Нахождение на первом этапе сингулярного решения осуществляется методами стандартных интегральных преобразований. На втором этапе осуществляется переход к системе относительно нового вектора базисных неизвестных. В зависимости от типа краевых условий исходная система редуцируется к системе граничных уравнений минимальной размерности первого или второго рода.

На третьем этапе осуществляется анализ корректности получившейся системы сингулярных граничных интегральных уравнений с использованием теории символа. Анализ проблемы краевых условий существенно упрощается: определяются ранг и базисные вектора линейной оболочки строк матрицы дифференциального оператора. Для систем с кусочно-постоянными коэффициентами удобен анализ краевых условий при помощи исследования миноров соответствующей матрицы. Невырожденному минору этой матрицы соответствует корректная система граничных интегральных уравнений. На заключительном этапе формулируется система линейных алгебраических уравнений, удобная для численного решения системы граничных интегральных уравнений.

Предложенная методика обладает рядом преимуществ при решении недостаточно исследованных многомерных краевых задач или для случая нестандартных краевых условий. Предложенное интегральное представление применимо и в случае, когда коэффициенты дифференциального оператора системы являются произвольными кусочно-непрерывными функциями. Основной проблемой в данном случае является отыскание матрицы-функции фундаментального решения.

Введение

В области приложений существует тенденция к использованию все более сложных математических моделей, в результате чего появляется практическая потребность решать уже известные или новые виды систем дифференциальных уравнений большой размерности [1-13]. К таким системам, в частности, относятся уравнения электромагнетизма в случае, когда характеристики среды являются тензорными величинами и система Максвелла не распадается на независимые уравнения. Статья продолжает исследование автора в этом направлении [13]. Другим примером является система уравнений электроупругости, описывающая пьезоэлектрические явления [11]. В теории электроупругости в настоящее время являются актуальными задачи расчета собственных частот пьезоэлектрических тел сложных и разнообразных форм. Потребность в учете различного рода физических эффектов постоянно приводит к усложнению прежних и появлению новых видов систем дифференциальных уравнений в частных производных.

Для решения подобных задач при помощи метода граничных интегральных уравнений могут использоваться интегральные представления общего решения системы [3-6]. Возможности такого подхода расширяются при помощи систем аналитических вычислений на ЭВМ [7-9]. В статье автора разработан новый универсальный метод редукции многомерных линейных краевых задач для систем дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка к эквивалентным системам граничных интегральных уравнений. В отличие от традиционных подходов [3-6] редукция осуществляется для системы дифференциальных уравнений первого, а не второго порядка.

Данный метод в принципе может применяться для решения уравнений Максвелла и других подобных систем и в том в случае, когда коэффициенты материальных уравнений зависят от пространственных координат и времени. Интегральные уравнения, к которым редуцируются исходные системы дифференциальных уравнений, получаются в результате применения выше упомянутых подходов, как правило, сингулярными. Данное обстоятельство представляет собой существенную проблему при численной реализации метода граничных интегральных уравнений вещественными и тем более интервальными методами. Эффективным способом решения данной проблемы является преобразование системы метода граничных интегральных уравнений посредством умножения на матричный сингулярный оператор, называемый эквивалентным регуляризатором [3-6, 10]. Другая проблема связана с тем, что некоторые интегральные уравнения могут быть зависимыми. Ее решение возможно посредством перехода к новому вектору зависимых переменных при помощи метода, описанного в литературе [3-6].

Поскольку эквивалентный регуляризатор является сингулярным, то полученные после преобразований свободные члены новой системы метода граничных интегральных уравнений, как правило, представляют собой сингулярные интегралы с известными плотностями. Задача вычисления

подобных интегралов в пространстве непрерывных функций является некорректной. Данное обстоятельство создает дополнительную проблему при вычислении интервальных оценок свободных членов граничных интегральных уравнений. Ее решение возможно в ряде случаев при помощи аналитического вычисления интеграла в окрестности особой точки.

Полученные в результате соответствующих преобразований регулярные интегральные уравнения могут быть решены описанными в [1-12] численными методами с выделением особенности.

В качестве конкретного примера рассмотрим универсальный алгоритм отыскания фундаментальных решений, редукции и анализа линейных систем дифференциальных уравнений в частных производных и соответствующих краевых задач, удобный для программирования в современных системах компьютерной алгебры.

Описание метода

Рассмотрим систему линейных уравнений в частных производных первого порядка с постоянными коэффициентами:

$$A(\partial/\partial x)u(x) = F(x), \quad x \in \Omega, \quad (1)$$

где $\Omega \subseteq R^n$ – область с кусочно-гладкой границей Γ , $u(x)$ – вектор-функция n переменных, $u(x) \in R^q$, $F(x) \in R^m$, $m \geq q$,

$$A = \{A_{ij}\}_{i=1, \dots, m}^{j=1, \dots, q}, A_{ij} = b_{ij} + \sum_{k=1}^n a_{ijk} \partial/\partial x_k, \\ i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, q.$$

Пусть A^* – дифференциальный оператор, формально сопряженный к оператору A , а $G(x)$ – решение системы

$$A^*(\partial/\partial x)G(x) = E(x), \quad x \in R^n, \quad (2)$$

где $E(x) = \delta(x)E$, E – единичная матрица, $\delta(x)$ – дельта-функция.

Из (1) и (2) с помощью формул Грина получаем интегральное представление для решения исходной системы:

$$\alpha(x)u(x) = \int_{\Omega} G^T(y-x)F(y)dy - \int_{\Gamma} G^T(y-x)Q(y)u(y)d\Gamma, \quad (3)$$

$$\alpha(x) = \int_{\Omega} \delta(y-x)dy, \quad (4)$$

$$Q = \{Q_{ij}\}_{i=1, \dots, m}^{j=1, \dots, q}, Q_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ijk} n_k(y), y \in \Gamma,$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, q.$$

$n_k(y)$ – координаты вектора единичной нормали, внешней к области Ω .

Формулы (3-4) обобщают соотношения Гюйгенса для уравнений Максвелла, Сомилиана для задач теории упругости и другие аналогичные известные интегральные представления решений систем дифференциальных уравнений в частных производных [4].

Дальнейший алгоритм состоит из следующих этапов. Нахождение на первом этапе сингулярного решения $G(x)$ осуществляется методами стандартных интегральных преобразований, а соответствующий алгоритм легко программируется в системах компьютерной алгебры REDUCE, MAXIMA, MATHEMATICA.

Некоторую проблему представляет то, что многие краевые задачи ставятся в виде систем, в которых количество неизвестных и уравнений не совпадает. По этой причине требуется осуществлять на втором этапе соответствующую процедуру перехода от (3-4) к системе метода граничных интегральных уравнений относительно нового вектора базисных неизвестных $\sigma(x) = C(x)u(x)$, где $C(x)$ – матрица перехода от одного базиса к другому.

В зависимости от типа краевых условий система (1) редуцируется к системе граничных интегральных уравнений минимальной размерности первого или второго рода.

Анализ корректности

На третьем этапе осуществляется анализ корректности полученной системы сингулярных граничных интегральных уравнений с использованием теории символа [10].

Анализ принципиально важной проблемы краевых условий существенно упрощается и может быть выполнен следующим образом. Определяются ранг r и базисные вектора линейной оболочки строк матрицы оператора $A : \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r\}$.

Интегральное уравнение можно формулировать для какого-то множества базиса, например, задавая на границе области значения $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_p$, $p < r$, и решая систему метода граничных интегральных уравнений относительно оставшихся $\sigma_{p+1}, \sigma_{p+2}, \dots, \sigma_r$.

Для систем с кусочно-постоянными коэффициентами особенно удобен анализ краевых условий при помощи исследования миноров матрицы

$$1/2E + (2\pi)^{(n-1)/2} F(G^T, \omega)F(A), \quad (5)$$

где $F(G^T, \omega)$ – фурье - образ $G^T(x)$, $F(A)$ – фурье - образ дифференциального оператора системы (1) на произвольной гиперплоскости.

Утверждение. *Невырожденному минору матрицы (5) соответствует корректная система метода граничных интегральных уравнений.*

Методы решения ГИУ

На заключительном этапе алгоритма формулируется система линейных алгебраических уравнений для непосредственного приближенного численного решения системы метода граничных интегральных уравнений относительно базисных функций $\sigma(x)$. Для этого (3) умножается на матрицу перехода $C(x)$ и учитывается, что $\sigma(x) = C(x)u(x)$:

$$\alpha(x)\sigma(x) = \int_{\Omega} C(x)G^T(y-x)F(y)dy - \int_{\Gamma} C(x)G^T(y-x)Q(y)u(y)d\Gamma,$$

в правой части последнего выражения также требуется перейти к новым базисным переменным. Для этого представим выражение Qu в виде произведения $W\sigma$ с некоторой априорно неизвестной матрицей W . Поскольку в рассматриваемых выражениях матрицы неквадратные, то, вообще говоря, существует произвол в выборе матрицы W . Один из методов ее нахождения основан на минимизации квадратичной нормы невязки:

$$\|Q - WC\|^2 \rightarrow \min_W,$$

откуда, варьируя данное выражение по значениям матрицы W , находим:

$$(Q - WC, -\delta(W)C) = 0 \Rightarrow (Q - WC)[\delta(W)C]^T = 0 \Rightarrow$$

$$(Q - WC)C^T [\delta(W)]^T = 0,$$

$$QC^T - WCC^T = 0 \Rightarrow W = QC^T [CC^T]^{-1}.$$

Таким образом, $Qu = QC^T [CC^T]^{-1} \sigma$.

$$\alpha(x)\sigma(x) = \int_{\Omega} C(x)G^T(y-x)F(y)dy -$$

$$-\int_{\Gamma} C(x)G^T(y-x)Q(y)C^T(y)[C(y)C^T(y)]^{-1} \sigma(y)d\Gamma,$$

искомое граничное интегральное уравнение записывается в стандартном виде:

$$\alpha(x)\sigma(x) = \oint_{\Gamma} K(x, y)\sigma(y)dy + h(x), \quad (6)$$

где ядро определяется по формуле

$$K(x, y) = -C(x)G^T(y-x)Q(y)C^T(y)[C(y)C^T(y)]^{-1},$$

а свободный член равен

$$h(x) = \int_{\Omega} C(x)G^T(y-x)F(y)dy.$$

В дальнейшем уравнение (6) сводится к системе линейных алгебраических уравнений и решается методом Гаусса или другим подходящим численным методом.

Предложенная методика обладает рядом преимуществ прежде всего при решении новых недостаточно исследованных многомерных краевых задач. В случае классических систем предложенный подход наиболее полезен для случая нестандартных краевых условий.

Следует отметить, что интегральное представление (3) применимо и в случае, когда коэффициенты дифференциального оператора системы являются произвольными кусочно-непрерывными функциями. Основной проблемой в данном случае является отыскание матрицы-функции фундаментального решения.

Из данной технологии вывода граничных интегральных уравнений от пользователя требуются лишь минимальная информация о конкретных свойствах решаемой системы (1) и о деталях физической картины моделируемого объекта.

Существовавшие ранее ограничения на сложность решаемых краевых задач в настоящее время во многом сняты благодаря существованию общедоступных систем символьных вычислений [7-9].

Вывод

Предложен новый метод редукции линейных краевых задач к граничным интегральным уравнениям. Метод эффективен для систем большой размерности и позволяет эффективно автоматизировать редукцию при помощи систем аналитических вычислений на ЭВМ.

Литература

1. Жермен-Лакур П., Жорж П.Л., Пистр Ф., Безье П. Математика и САПР: в 2-х кн. Кн. 2. Вычислительные методы. Геометрические методы: пер. с франц. М.: Мир, 1989. 264 с.
2. Кулон Ж.-Л., Сабоннадьер Ж.-К. САПР в электротехнике: пер. с франц. М.: Мир, 1988. 208 с.
3. Кацикаделис Джон Т. Граничные элементы: теория и приложения: пер. с англ. М.: Изд-во АСВ, 2007. 343 с.
4. Алексидзе М.А. Фундаментальные функции в приближенных решениях граничных задач. М.: Наука, 1991. 352 с.
5. Иванов Д.Ю. Устойчивая разрешимость в пространствах дифференцируемых функций некоторых двумерных

интегральных уравнений теплопроводности с операторным полугрупповым ядром // Вестник Томского государственного университета. 2015. № 6(38). С. 33-45.

6. Баженов В., Игумнов Л. Методы граничных интегральных уравнений и граничных элементов. М.: Физматлит, 2008. 352 с.
7. Дэвенпорт Дж., Сирэ И., Турнье Э. Компьютерная алгебра: пер. с франц. М.: Мир, 1991. 352 с.
8. Еднерал В.Ф., Крюков А.П., Родионов А.Я. Язык аналитических вычислений REDUCE. М.: МГУ, 1988. 176 с.
9. Климов Д.М., Руденко В.М. Методы компьютерной алгебры в задачах механики. М.: Наука, 1989. 215 с.
10. Михлин С.Г. Многомерные сингулярные интегральные уравнения. М.: Физматгиз, 1962. 256 с.
11. Шульга Н.А., Болкисев А.М. Колебания пьезоэлектрических тел. Киев: Наукова думка, 1990. 228 с.
12. Далецкий Ю.Л., Крейн М.Г. Устойчивость решений дифференциальных уравнений в банаховом пространстве. М.: Наука, 1970. 536 с.
13. Арутюнян Р.В. Новый подход к редукции многомерных линейных краевых задач к эквивалентным граничным интегральным уравнениям // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 4. С. 63-66.

Для цитирования:

Арутюнян Р.В. Новый подход к редукции многомерных линейных краевых задач к эквивалентным граничным интегральным уравнениям // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 4. С. 6–10.

A NEW APPROACH TO THE REDUCTION OF MULTIDIMENSIONAL LINEAR BOUNDARY VALUE PROBLEMS FOR AN EQUIVALENT BOUNDARY INTEGRAL EQUATIONS

Harutyunyan Robert Vladimirovich,
Moscow, Russia, rob@mail.ru

Abstract

The work describes a new method of reduction of multidimensional linear boundary value problems for systems of differential equations of the first order to the equivalent boundary integral equations. The method is effective for systems of large dimension and allows you to effectively automate the reduction by means of systems of analytical calculations on a computer. This method can in principle be used to solve Maxwell's equations and other similar systems and that in the case where the material coefficients of equations

depend on the spatial coordinates and time.

Formula a method to generalize the ratio of Huygens for Maxwell's equations, Somiglian for problems of elasticity and similar well-known integral representations of solutions of systems of differential equations.

The proposed algorithm consists of the following steps. The finding in the first phase of the singular solution is of the standard methods of integral transformations and the corresponding algorithm is easily programmed in the computer algebra systems.

Some problem is that many boundary value problems are in the form of systems, in which the number of unknowns and equations. For this reason, it is required to carry out the second stage for the procedure to access the system on a new basis vector is unknown. Depending on the type of boundary conditions, the initial system reduces to the system of boundary equations of the minimum dimensions of the first or second kind.

The third step refers to the analysis of the correctness of the resulting system of singular boundary integral equations using the theory of the symbol. Analysis of the fundamentally important problem of boundary conditions is greatly simplified and can be performed in the following way. Define and rank of the base vector of the linear shell of the rows of the matrix of the differential operator. For systems with piecewise-constant coefficients is particularly convenient analysis of boundary conditions with the help of the study of the minors of the corresponding matrix, described in the article. Nondegenerate minor of this matrix corresponds to a correct system of boundary integral equations.

At the final stage of the algorithm we formulate the system of linear algebraic equations for the approximate direct numerical solution of the system of boundary integral equations. In the future, the boundary integral equation reduced to a system of linear algebraic equations and solved by the Gauss method or another suitable numerical method.

The proposed method has several advantages, especially when dealing with new and under-researched multidimensional boundary value problems. In the case of classical systems the proposed approach is most useful for non-standard boundary conditions. The proposed integral representation is applicable in the case when the coefficients of the differential operator systems are arbitrary piecewise continuous functions. The main problem in this case is the determination of the matrix-function a fundamental solution.

Keywords: differential equations partial differential system; boundary value problem; reduction; boundary integral equations.

References

1. Zhermen-Lakur P., Zhorzh P.L., Pistr F., Bez'e P. Matematika i SAPR: v 2-h kn. Kn. 2. Vychislitel'nye metody. Geometricheskie metody [Mathematics and CAD: Computational methods. Geometric methods]. Moscow, Mir, 1989. 264 p. (In Russian).
2. Coulomb J.-L., Sabonnadiere J.-K., CAO en electrotechnique. Paris: Hermes Pub., 1985. 242 p.
3. Katsikadelis John T. Boundary elements: Theory and applications. Oxford: Elsevier, 2002. 336 p.

4. Aleksidze M.A. Fundamental'nye funktsii v priblizhennykh resheniyah granichnykh zadach [The fundamental function of approximate solutions of boundary problem]. Moscow: Nauka, 1991. 352 p. (In Russian).

5. Ivanov D. Ju. Sustainable solvability in spaces of differentiable functions of certain two-dimensional integral equations of heat conduction with operator-semigroup kernel. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. No. 6 (38). Pp. 33-45. (In Russian).

6. Bazhenov V., Igumnov L. Metody granichnykh integral'nykh uravnenij i granichnykh jelementov [Boundary integral equations and boundary elements]. Moscow, Fizmatlit, 2008. 352 p. (In Russian).

7. Davenport J., Siret Y., Tournier E. Calcul formel : Systemes et algorithmes de manipulations algebriques. Paris etc., Masson, 1987. 263 p.

8. Edneral V.F., Krjukov A.P., Rodionov A.Ja. Jazyk analiticheskikh vychislenij REDUCE [Language analytical calculations REDUCE]. Moscow, MGU, 1988. 176 p. (In Russian).

9. Klimov D.M., Rudenko V.M. Metody komp'yuternoj algebry v zadachah mehaniki [Methods of computer algebra in mechanics]. Moscow: Nauka, 1989. 215 p. (In Russian).

10. Mihlin S.G. Mnogomernye singuljarnye integral'nye uravnenija [Multi-dimensional singular integral equations]. M.: Fizmatgiz, 1962. 256 p. (In Russian).

11. Shul'ga N.A., Bolkisev A.M. Kolebaniya p'ezoelektricheskikh tel [Fluctuations piezoelectric bodies]. Kiev: Naukova dumka, 1990. 228 p. (In Russian).

12. Dalekij Ju.L., Krejn M.G. Ustojchivost' reshenij differentsial'nykh uravnenij v banahovom prostranstve [Stability of solutions of differential equations in a Banach space]. Moscow: Nauka, 1970. 536 p. (In Russian).

13. Arutjunjan R.V. Novyj podhod k redukcii mnogomernykh linejnykh kraevykh zadach k jekvivalentnym granichnym integral'nym uravnenijam. T-Comm. 2016. Vol. 10. No. 4. Pp. 63-66. (In Russian).

Information about authors:

Harutyunyan R.V., Ph.D., assistant professor of the Moscow Technical University of Communications and Informatics, Department of "Mathematical Analysis".

For citation:

Harutyunyan R.V. A new approach to the reduction of multidimensional linear boundary value problems for an equivalent boundary integral equations. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 6–10. (In Russian).

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БАЛЛИСТИЧЕСКИ СВЯЗАННОЙ ГРУППЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Аверкиев

Николай Фёдорович,

д.т.н., профессор кафедры навигационно-баллистического обеспечения применения космических средств и теории полёта летательных аппаратов, Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

Власов

Сергей Александрович,

к.т.н., доцент кафедры навигационно-баллистического обеспечения применения космических средств и теории полёта летательных аппаратов, Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

Житников

Тимофей Андреевич,

адъюнкт Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского г. Санкт-Петербург, Россия, 0606848@rambler.ru

Кульвиц

Алексей Владимирович,

к.т.н., старший преподаватель кафедры навигационно-баллистического обеспечения применения космических средств и теории полёта летательных аппаратов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

Ключевые слова:

космический аппарат; орбитальная группировка; баллистически связанная группа космических аппаратов; периодический обзор поверхности Земли; синтез систем космических аппаратов.

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме повышения эффективности применения систем космических аппаратов с использованием баллистически связанных групп космических аппаратов – совокупности из нескольких космических аппаратов, движущихся на сравнительно близком взаимном расстоянии от несколько десятков метров до сотни километров. Основным отличием полётов космических аппаратов в составе баллистически связанной группы от полётов в составе системы космических аппаратов заключается в том, что в системах первого типа управление осуществляется с учётом взаимного положения спутников, движущихся по весьма близким орбитам, то есть реализуется управление относительным движением, а в системах второго типа осуществляется индивидуальное управление каждым объектом.

Существует ряд проблем для реализации таких проектов, в том числе и с точки зрения динамики входящих в неё космических аппаратов. Первая проблема – это определение и формирование структуры баллистически связанных групп. Вторая проблема – её поддержание во времени. Решение первой проблемы зависит от того, какой системный эффект от применения баллистически связанной группы необходимо реализовать при построении орбитальной группировки. Для решения второй проблемы целесообразно изучить механизмы, способствующие разрушению баллистически связанной группы.

В работе рассматриваются проблемные вопросы формирования структуры баллистически связанных групп космических аппаратов, а так же представлен методологический подход к формированию конфигурации баллистически связанной группы космических аппаратов. Приведён пример формирования структуры баллистически связанной группы состоящей из трёх космических аппаратов. Исследована динамика относительного движения космических аппаратов входящих в состав баллистически связанной группы. Представлены зависимости линейных дальностей и углов между космическими аппаратами в составе баллистически связанной группы на интервале 10 суток, а так же график ориентации плоскости баллистически связанной группы космических аппаратов к поверхности Земли на интервале одного витка. Предварительные результаты моделирования геометрических характеристик баллистически связанной группы космических аппаратов, показывают, что характер изменения линейной дальности между космическими аппаратами и угла между вершинами треугольника, образованного баллистически связанной группой на временном интервале периодический. В то же время присутствуют вековые уходы и представленные зависимости носят сложный функциональный характер. В ходе моделирования и анализа результатов сделан вывод, что характер изменения относительного углового положения космических аппаратов зависит от начального положения космических аппаратов в составе баллистически связанной группы.

Проблемные вопросы формирования структуры баллистически связанной группы космических аппаратов. Как правило, процесс баллистического проектирования систем космических аппаратов (КА) содержит несколько этапов, основными из которых являются:

- изучение основных целевых задач, стоящих перед системой КА;
- приближенный выбор класса орбит, позволяющих решать поставленные задачи;
- приближенный выбор орбитальной структуры системы;
- исследование динамики системы с приближенной орбитальной структурой;
- уточненный синтез орбитальной структуры системы;
- выбор законов управления орбитами системы КА [1-4].

Проведенный предварительный анализ формирования облика баллистически связанной группы (БСГ) КА, позволяет сформулировать следующие задачи, которые необходимо решить для проектирования систем КА с использованием БСГ КА:

1. Определение целевой задачи (целевой функции), стоящей перед системой КА с использованием БСГ.
2. Формирование требований и ограничений, которые возникают перед КА в составе БСГ КА.
3. Выбор и обоснование параметров орбит с учётом стоящей перед системой целевой задачей, а так же поиск начального положения каждого КА, в составе БСГ, которая будет удовлетворять данные требования и ограничения.
4. Выбор и обоснование модели движения центра масс КА в составе БСГ.
5. Разработка методологического аппарата решения задачи синтеза систем КА с использованием БСГ.

Методологический подход к формированию БСГ КА. С точки зрения классификации систем КА с использованием БСГ – это системы периодического обзора, но в качестве структурного элемента выступает не одиночный КА, а БСГ КА. В связи с этим методы и алгоритмы решения задачи синтеза и анализа таких систем КА будут другими, с новыми требованиями и ограничениями. В ряде случаев применительно к системе КА с использованием БСГ КА – это повышенные требования к конфигурации треугольника, образованного КА и т.д. [2]. Все эти особенности построения БСГ КА необходимо учитывать на этапах баллистического проектирования систем КА с использованием БСГ.

Теории синтеза систем КА периодического наблюдения, в настоящее время посвящены работы следующих ученых П. Мамона, Г. Можаяева, Ю. Разумного, С. Власова, В. Саульского, В. Милованова, О. Нестеренко. Но, вместе с тем, как отмечается в ряде работе [1,6,8,9], к настоящему времени теория синтеза орбитального построения не имеет общих решений. В математической постановке – это поиск глобального экстремума, поиск которого затруднен, возникают трудности с критериальными функциями: большое количество переменных, кото-

рые трудно дифференцируемы, и имеют множество разрывов и не задаются аналитически [5]. Поэтому предлагаемые на сегодняшний день варианты орбитального построения носят локально-оптимальный характер.

Таким образом, задача синтеза систем КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с использованием БСГ КА, усложняется добавлением новых требований и ограничений.

Предварительный анализ движения КА в составе БСГ позволяет сделать вывод о невозможности формирования БСГ КА на круговых орбитах одинакового наклона и высоты. В окрестностях точки вертекса происходит разворот плоскости БСГ и структура баллистически связанной группы космических аппаратов складывается в прямую, орбиты пересекаются, а так как выбор структуры БСГ КА обусловлен целевой задачей, то в данном случае можно предположить, что БСГ КА не будет работать по назначению[7]. Один из возможных путей преодоления этого случая – формирование БСГ на разнородных орбитах: в двух или трёх плоскостях.

Например, один из рациональных вариантов такого построения – это баллистическая структура, при которой КА лежат в двух плоскостях: 1-й и 2-й КА соответственно в одной плоскости на круговой орбите, а 3-й КА на околокруговой с разворотом аргумента широты перигея на 270 градусов.

Более того, с учётом возможностей средств выведения и реализации на практике таких систем КА, варианты начального положения КА в БСГ, которые удовлетворяли бы требованиям могут отсутствовать.

В этом случае, для заданного диапазона орбит КА, задача формирования БСГ КА может быть сведена к минимизации времени, при котором требованиям не выполняются.

Сформированная таким образом БСГ, с одной стороны будет удовлетворять требованиям, но в то же время не будет обладать структурной устойчивостью. Поэтому задача синтеза БСГ КА из 3-х КА сводится к поиску такой баллистической структуре, которая будет удовлетворять требованиям на заданном интервале структурной устойчивости, под которой понимают промежуток времени на котором БСГ КА способна выполнять целевую задачу.

Рассмотрим, как происходит формирование требований и ограничений для варианта орбитального построения 3-х КА в составе БСГ КА. Обозначим номер КА индексами 1, 2, 3 (табл.1). Один из вариантов рационального орбитального построения КА в составе БСГ представлен в табл. 1.

На примере данного орбитального построения рассмотрим требования к конфигурации треугольника образованного БСГ КА. Обозначим: $O_j(x_j, y_j, z_j)$ – положение КА 1–3 в начальный момент времени t_0 ; d_{12}, d_{13}, d_{23} – линейная дальность между КА 1-2, 1-3, 2-3 соответственно; γ_j – угол между вершинами треугольника, образованного БСГ КА; φ – угол между прямой соединяющей центр тяжести треугольника и направленной по нормали к

поверхности Земли и ее проекцией на плоскость, в которой лежит треугольник БСГ КА (рис. 1).

Таблица 1
Структура баллистически связанной группы КА

№ КА	a, км	e	i град	u град	ω град	Ω град
1	7480.5	0	63.4	0	-	0
2	7480.5	0	63.4	1.5319	-	0
3	7480.5	0.0103627	63.1	0.10141854	270	1.4838

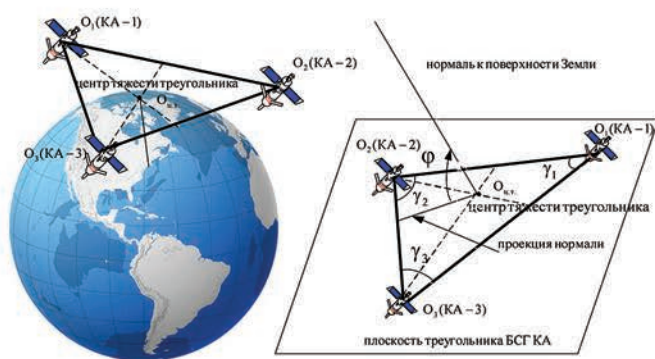


Рис. 1. Геометрические характеристики баллистически связанной группы КА

Геометрические характеристики $d_{12}(t), d_{13}(t), d_{23}(t), \gamma_j(t), \varphi(t)$ полностью определяют динамику относительного движения треугольника образуемого БСГ КА.

Таким образом, требования к конфигурации БСГ КА можно представить системой неравенств (1):

$$\begin{cases} d_{12}(t), d_{13}(t), d_{23}(t) < d_{np}, \\ \gamma_j(t) < \gamma_{np}, \\ \varphi(t) < \varphi_{np}, \end{cases} \quad (1)$$

где $j=1...3$ номер КА 1–3.

В качестве характерной точки треугольника образованного БСГ КА примем центр тяжести треугольника. Тогда, для случая, когда движение центра масс КА рассматривается в абсолютной геоцентрической экваториальной системе координат (АГЭСК), получим координаты центра тяжести треугольника БСГ КА.

$$O_{ц.м.} \left(\frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}, \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}, \frac{z_1 + z_2 + z_3}{3} \right) \quad (2)$$

Приведем основные формулы для расчёта геометрических характеристик БСГ КА, с учётом принятых обозначений:

$$\begin{aligned} d_{12} &= \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}, \\ d_{13} &= \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2}, \\ d_{23} &= \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2 + (z_3 - z_2)^2}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \gamma_1 = \arccos\left(\frac{d_{12}^2 + d_{13}^2 - d_{23}^2}{2d_{12}d_{13}}\right), \\ \gamma_2 = \arccos\left(\frac{d_{23}^2 + d_{12}^2 - d_{13}^2}{2d_{23}d_{12}}\right), \\ \gamma_3 = \arccos\left(\frac{d_{13}^2 + d_{23}^2 - d_{12}^2}{2d_{13}d_{23}}\right), \end{cases} \quad (4)$$

$$\sin \varphi = \left(\frac{|Al + Bm + Cn|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2 + l^2 + m^2 + n^2}} \right), \quad (5)$$

$$\text{где } l = -\frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}, m = -\frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}, n = -\frac{z_1 + z_2 + z_3}{3}$$

A, B, C – коэффициенты уравнения плоскости, в которой лежит БСГ КА.

Рассматривая движение центра масс КА в составе БСГ в АГЭСК и используя, систему дифференциальных уравнений (6), получим геометрические характеристики БСГ КА на интервале одного витка, представленные на рис. 2–5.

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= -\frac{\mu}{r^3} + \left[-\frac{3\pi_2}{2r^4} \left(1 - 5\frac{z^2}{r^2} \right) + \frac{5\pi_4}{8r^6} \left(3 - (42 - 63\frac{z^2}{r^2}) \frac{z^2}{r^2} \right) \right] \frac{x}{r} - \\ &\quad - \frac{C_x S_M}{2m} \rho V V_x, \\ \ddot{y} &= -\frac{\mu}{r^3} + \left[-\frac{3\pi_2}{2r^4} \left(1 - 5\frac{z^2}{r^2} \right) + \frac{5\pi_4}{8r^6} \left(3 - (42 - 63\frac{z^2}{r^2}) \frac{z^2}{r^2} \right) \right] \frac{y}{r} - \\ &\quad - \frac{C_x S_M}{2m} \rho V V_y, \\ \ddot{z} &= -\frac{\mu}{r^3} + \left[-\frac{3\pi_2}{2r^4} \left(3 - 5\frac{z^2}{r^2} \right) + \frac{5\pi_4}{8r^6} \left(30 - (70 - 63\frac{z^2}{r^2}) \frac{z^2}{r^2} \right) \right] \frac{z}{r} - \\ &\quad - \frac{C_x S_M}{2m} \rho V V_z, \\ \dot{x} &= V_x, \dot{y} = V_y, \dot{z} = V_z, \end{aligned} \quad (6)$$

где x, y, z, V_x, V_y, V_z – координаты и проекции скорости центра масс КА в АГЭСК; C_x – коэффициент силы лобового сопротивления; S_M – площадь миделя; m – масса КА; ρ – плотность воздуха; V – модуль относительной скорости КА. Для каждого момента времени рассчитаем характеристики, определяющие динамику относительного движения треугольника образуемого БСГ КА по формулам (2–5).

На рис. 2–4 приведены зависимости линейной дальности и угла между КА в составе БСГ на интервале 10 суток, а на рис. 5 представлен график ориентации плоскости баллистически связанной группы космических аппаратов к поверхности Земли на интервале одного витка.

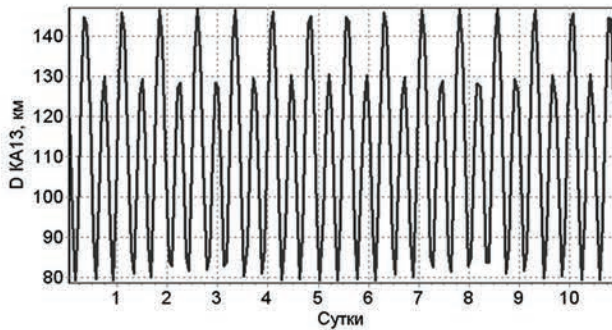


Рис.2. График изменения линейной дальности между КА-1 и КА-3 в составе БСГ на интервале 10 суток

Предварительные результаты моделирования геометрических характеристик БСГ КА, представленные на рис. 2–5 (конфигурация БСГ КА на плоскости и в пространстве) показывают, что характер изменения линейной дальности между КА и угла между вершинами треугольника, образованного БСГ КА на временном интервале периодический. В то же время присутствуют вековые уходы и представленные зависимости носят сложный функциональный характер. Как показывают результаты моделирования на более длительном временном интервале для различных вариантов начального положения КА в составе БСГ КА и моделей сил, действующих на БСГ КА, появляются долгопериодические составляющие возмущающих сил.

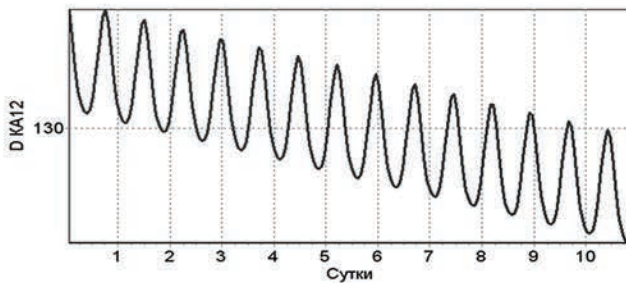


Рис.3. График изменения линейной дальности между КА-1 и КА-2 в составе БСГ на интервале 10 суток

Характер изменения углов γ_j , представленный на рис. 4, зависит от начального положения КА в составе БСГ КА. Для удовлетворения требований по предельным значениям углов (например, для реализации разностно-дальномерного метода определения местоположения источников радиоизлучений) необходимо проводить анализ в центральном гравитационном поле.

Заключение. Требования к геометрическим характеристикам или конфигурации БСГ КА определяются методом радиолокации. Для их реализации, необходимо использовать орбиты с разной геометрией и положением в пространстве, а это в свою очередь порождает ряд трудностей при синтезе системы КА ДЗЗ с использованием БСГ. По сути требования к БСГ противоречат методам и алгоритмам синтеза системы КА периодического обзора. Так в

их основе лежит поиск оптимальной структуры на узком множестве (орбиты круговые, с одинаковым радиусом и наклоном). Кроме того, задача выбора начального положения КА в составе БСГ в настоящее время не решена. Предварительные результаты моделирования геометрических характеристик БСГ КА, представленные на рис. 2 (конфигурация БСГ КА на плоскости) и рис. 3 (ориентация плоскости БСГ КА к поверхности Земли) для различных вариантов начального положения КА в составе БСГ КА показывают, что улучшение характеристик на плоскости в ряде случаев введет к ухудшению ориентации плоскости БСГ КА. Более того, с учетом возможностей средств выведения и реализации на практике таких систем КА, варианты начального положения КА в БСГ, которые удовлетворяли требованиям (1) могут отсутствовать.

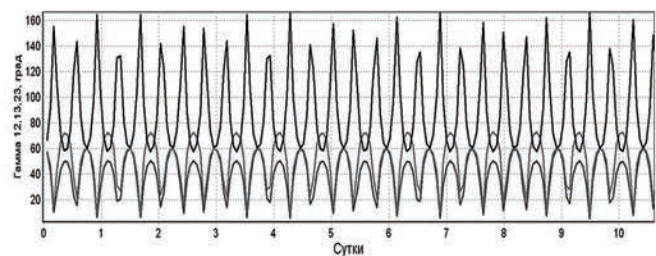


Рис.4. График изменения углов γ_j между КА в составе БСГ на интервале 10 суток

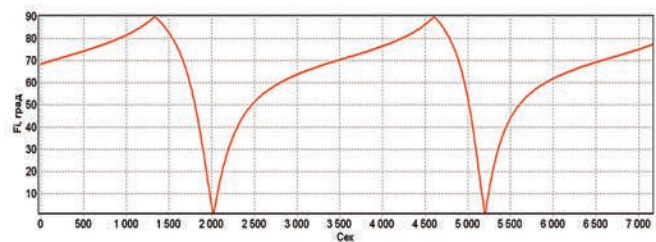


Рис. 5. Ориентация плоскости БСГ КА к поверхности Земли на интервале одного витка

В этом случае, для заданного диапазона орбит КА, оптимизация начального положения КА в составе БСГ КА может быть сведена к минимизации времени, при котором требования (1) не выполняются.

Следующим этапом баллистического построения системы КА ДЗЗ с использованием БСГ КА является синтез структуры, в котором БСГ КА является структурным элементом. При этом те требования, которые не могут быть выполнены при формировании БСГ КА необходимо учитывать при решении задачи синтеза систем КА ДЗЗ.

Для сформированного варианта БСГ (табл. 1) произведен расчёт необходимого количества БСГ и общего числа КА в системе для обеспечения требуемой периодичности наблюдения широтного пояса $R_\psi \in [-70, 70]$. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2
Периодичность наблюдения БСГ КА

периодичность наблюдения, час	1.5	3	4	5
количество БСГ КА (общее количество КА)	12 (36)	6 (18)	5(15)	4(12)

Таким образом, решение синтеза системы КА с использованием БСГ КА сводится к решению следующих комплексных оптимизационных задач:

1) Определение целевой задачи (целевой функции), стоящей перед системой КА с использованием БСГ КА.

2) Формирование требований и ограничений, которые возникают перед КА в составе БСГ. Выбор и обоснование параметров орбит с учетом стоящей перед системой целевой задачей, так же поиск начального положения каждого КА, в составе БСГ, которая будет удовлетворять данные требования и ограничения.

3) Выбор и обоснование модели движения центра масс КА в составе БСГ. Разработка методологического аппарата решения задачи синтеза систем КА с использованием БСГ.

Литература

1. Аверкиев Н.Ф., Богачёв С.А., Васьков С.А. Основы теории полёта летательных аппаратов. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. 242 с.

2. Лобанов А.Г., Семункина В.И. К вопросу о баллистическом построении при проведении интерферометрической съёмки // Космонавтика и ракетостроение. 2012. № 5. С. 41–47.

3. Агапов В.А. Два новых спутника для NRO // Новости космонавтики. 2002. № 5. С. 11–12.

4. Кучейко А.В. USA-160: ситуация проясняется // Новости космонавтики. 2002. № 8. С. 44–47.

5. Власов С.А., Кульвиц А.В., Мосин Д.А. Анализ пространственно-временных характеристик при решении задачи периодического наблюдения системой КА // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2010. № 645. Т. 2. С. 72–75.

6. Власов С.А., Кульвиц А.В., Киселев В.В. Алгоритм расчёта характеристик применения космических аппаратов для наблюдения объектов в околоземном космическом пространстве // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2010. № 645. Т. 2. С. 82–92.

7. Овчинников М.Ю., Ткачев С.С. Влияние слабых возмущений на относительное движение двух спутников // Препринты ИПИМ имени М.В. Келдыша. 2005. № 69. 24 с.

8. Разумный Ю.Н. Синтез орбитальных структур спутниковых систем периодического обзора. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 355с.

9. Можаяев Г.В. Синтез орбитальных структур спутниковых систем: Теоретико-групповой подход. М.: Машиностроение, 1989. 303 с.

Для цитирования:

Аверкиев Н.Ф., Власов С.А., Житников Т.А., Кульвиц А.В. Формирование структуры баллистически связанной группы космических аппаратов дистанционного зондирования земли // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 4. С. 11–16.

FORMATION OF STRUCTURE BALLISTICALLY LINKED GROUP OF REMOTE SENSING SPACECRAFTS**Averkiev Nikolay Fedorovich,**

St. Petersburg, Russia

Vlasov Sergey Aleksandrovich,

St. Petersburg, Russia

Zhitnikov Timofey Andreevich,

St. Petersburg, Russian, 0606848@rambler.ru

Kulvic Aleksey Vladimirovich,

St. Petersburg, Russia

Abstract

The article is devoted to date, the problem of increasing effectiveness, efficiency of application systems of the spacecraft using the ballistically linked groups spacecraft – sets from several spacecrafts moving at a relatively close mutual distance from a few tens of meters to one hundred kilometers.

The main difference of flights of spacecrafts as a part of ballistically linked group from flights as a part of system of spacecrafts is that in systems of the first type is controlled by taking into account the relative position of the satellites moving in very close orbits, that is realized by controlling the relative movement, and carried out individually in the second type of system control of each object.

There are a number of problems for the implementation of such projects, including from the point of view of the dynamics of its member satellites. The first problem - the definition and formation of spatial configurations of ballistically linked groups. The second problem – maintaining them over time. The solution to the first problem depends on which system effect of using the ballistically linked group is necessary to implement in the construction of the orbital grouping. To solve the second problem, it is advisable to study the mechanisms that contribute to the destruction of the ballistically linked group of spacecrafts.

In this article problematic issues of formation of structure ballistically linked groups of spacecrafts are considered, and methodological approach to formation of a configuration ballistically linked group of spacecrafts is also presented. The example of formation of structure ballistically linked group consisting of three spacecrafts is given. Dynamics of the relative movement of the spacecrafts which are a part ballistically linked group is investigated.

Dependences of linear ranges and corners between spacecrafts as a part of ballistic related group on an interval of 10 days, and also the schedule of orientation of the plane ballistically linked group of spacecrafts to the Earth's surface on an interval of one round are presented. The preliminary results of modeling of geometrical characteristics ballistically linked group of spacecrafts show that nature of change of linear range between spacecrafts and a corner between tops of the triangle formed ballistically linked group on a time interval periodic. At the same time there are century shifts and the presented dependences have difficult functional character.

During modeling and the analysis of results the conclusion is drawn that nature of change of relative angular position of spacecrafts

depends on initial position of spacecrafts as a part of ballistically linked group.

Keywords: spacecraft, orbital group, ballistically linked group of spacecraft, a periodic review of the Earth's surface, synthesis of systems of spacecrafts.

References

1. Averkiev N.F., Bogachev S. A., Vaskov S. A. Osnovy teorii poljota letatel'nyh apparatov [Bases of the theory of flight of aircraft]. St. Peterburg, Voenno-kosmicheskaja akademija imeni A.F. Mozhajskogo, 2013. 242 p. (In Russian).
2. Lobanov A.G., Semunkina V.I. To a question of ballistic construction when carrying out interfero-metric shooting. Moscow region, Cosmonautics and rocket engineering, 2012. No. 5. Pp. 41–47. (In Russian).
3. Agapov V.A. Dva novyh sputnika dlja NRO. [Two new satellites for NRO]. Moscow, Novosti kosmonavtiki, 2002. № 5. Pp. 11–12. (In Russian).
4. Kuchejko A.V. USA-160: situacija projasnjaetsja. [USA-160: the situation clears up]. Moscow, Novosti kosmonavtiki, 2002. № 8. Pp. 44–47. (In Russian).
5. Vlasov S.A., Kul'vic A.V., Mosin D.A. Analiz prostranstvenno-vremennyh harakteristik pri reshenii zadachi periodicheskogo nabljudenija sistemoy kosmicheskikh apparatov [The analysis of existential characteristics at the solution of a problem of periodic supervision by system of spacecrafts]. Trudy voenno-kosmicheskoi akademii imeni A.F. Mozhaiskogo, 2010. No. 645. Pp. 72–75. (In Russian).
6. Vlasov S.A., Kul'vic A.V., Kiselev V.V. Algoritm raschjota harakteristik primeneniya kosmicheskikh apparatov dlja nabljudenija obektov v okolozemnom kosmicheskom prostranstve [Algorithm of calculation of characteristics of use of spacecrafts for supervision of objects in a near-earth space]. Trudy voenno-kosmicheskoi akademii imeni A.F. Mozhaiskogo, 2010. No. 645. Pp. 82–92. (In Russian).
7. Ovchinnikov M.Ju., Tkachev S.S. Vlijanie slabyh vozmushhenij na otositel'noe dvizhenie dvuh sputnikov. [Influence of weak indignations on the relative movement of two satellites]. Preprint IPM imeni M.V. Keldisha, 2005. No. 69. 24 p. (In Russian).
8. Razumnyy Yu.N. Sintez orbital'nykh struktur sputnikovykh sistem periodicheskogo obzora. [Synthesis of orbital structures of satellite systems of the periodic review]. Moscow, MG TU imeni N.E. Baumana, 2000. 355 p. (In Russian).
9. Mozhayev G.V. Sintez orbital'nykh struktur sputnikovykh sistem: Teoretiko-gruppovoy podkhod. [Synthesis of orbital structures of satellite systems: Group-theoretic approach]. Moscow, Mashinostroenie, 1989. 303 p. (In Russian).

Information about authors:

Averkiev N.F., Ph.D., professor of Department of Space Ballistics; Vlasov S.A., Ph.D., associate professor of Department of Space Ballistics;

Zhitnikov T.A., postgraduate student, Military Space Academy;

Kulvic A.V., Ph.D., senior lecturer of Department of Space Ballistics.

For citation:

Averkiev N.F., Vlasov S.A., Zhitnikov T.A., Kulvic A.V. Formation of structure ballistically linked group of remote sensing spacecrafts. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 11–16. (In Russian).

ЗОННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ ЛИКВИДАЦИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ И ПРОВЕДЕНИИ ПУСКОВ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Минаков

Евгений Петрович,

д.т.н., профессор, профессор
кафедры управления организационно-
техническими системами космического
назначения Военно-космической
академии имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
eр.minakov12345@mail.ru

Тарасов

Анатолий Геннадьевич,

к.т.н., докторант Военно-космической
академии имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
Atol-77@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Высокие риски, обусловленные угрозами возникновения техногенных экстремальных ситуаций и катастроф, вызывают необходимость поиска наиболее эффективных путей улучшения работы по предупреждению, выявлению, локализации экстремальных ситуаций и ликвидации их последствий. Экстремальная ситуация при подготовке и пуске ракет космического назначения – обстановка, складывающаяся на техническом и стартовом комплексах и прилегающих к ним территориях, характеризуемая возникновением факторов непосредственной угрозы для здоровья и жизни людей или угрозы срыва их деятельности по решению задач своевременной подготовки и пуска ракет космического назначения. Предотвращение экстремальных ситуаций и их локализация в самой начальной стадии развития является наиболее важной задачей при разработке новых ракетно-космических комплексов, в связи с чем актуальной является задача обоснования необходимого состава и оптимального размещения средств ликвидации экстремальных ситуаций в позиционном районе части запуска, в качестве которых с позиций безопасности и оперативности целесообразно применять робототехнические системы. Применение робототехнических систем ликвидации экстремальных ситуаций – организованное на требуемом уровне по целям, задачам, функциям, месту и времени использование органами управления имеющихся на их вооружении робототехнических систем и определение взаимодействия, обеспечивающих оперативную и безопасную ликвидацию экстремальных ситуаций. В работе предлагается зонный подход к применению робототехнических систем для ликвидации экстремальных ситуаций, в рамках которого разработаны необходимые условия применимости робототехнических систем в условиях конкретной экстремальной ситуации. Новизна подхода заключается в определении пространственно-временных характеристик развития экстремальных ситуаций и формировании такого состава робототехнической системы, который позволит воздействовать максимально эффективно на факторы экстремальной ситуации для их ликвидации с заданной вероятностью. В рамках данного подхода предлагается на основе минимаксного критерия перекрытия зон действия робототехнических систем определять наиболее эффективный из возможных (фронтальный, круговой, комбинированный) вариант построения робототехнического комплекса.

Ключевые слова:

робототехническая система;
экстремальная ситуация; безопасность;
зонный подход; операционная
характеристика.

Необходимые условия применимости робототехнических систем и комплексов для ликвидации экстремальных ситуаций

Возрастающие темпы роста количества и масштабов последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий, связанные в том числе с ракетно-космической деятельностью, заставляют искать новые решения проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, развивать методы и средства их прогноза и предупреждения [5-6]. Решение задачи обоснования состава и рубежей развертывания и применения робототехнических систем (РТС) и комплексов (РТК) для обеспечения ликвидации экстремальных ситуаций (ЭС) с заданной вероятностью возможно применением теоретико-множественного подхода, суть которого заключается в следующем.

Любой j -й точке области ЭС $\beta_j(t)$ в любой момент времени t может быть поставлен в соответствие вектор фазовых характеристик ЭС $S(t) = \langle \alpha_1(t), \alpha_2(t), \dots, \alpha_n(t) \rangle$, задаваемый в пространстве $\{S\}: \{S(t), t\} \subset \{S\} \{S\}$. Множество всех точек $\{\beta_j(t)\} = B(t)$ образует область ЭС в момент времени t .

Любой точке положения РТС в любой момент времени t может быть поставлен в соответствие вектор кинематических параметров движения РТС: $D(t) = \langle x(t), y(t), z(t), V_x(t), V_y(t), V_z(t), \dots \rangle$ в системе координат $O_{CK} X_{CK} Y_{CK} Z_{CK}$, связанной со СК.

Возникает задача, условно называемая прямой, в которой для любого вектора $D(t)$ при заданном векторе обобщенных тактико-технических характеристик РТС $T_x(t)$ требуется определить вектор операционных характеристик воздействия РТС на характеристики ЭС в некоторой точке ее области – $S_B(t) = \langle \alpha_{1T}(t), \alpha_{2T}(t), \dots, \alpha_{nT}(t) \rangle$:

$$F_T: \{D(t), T_x(t)\} \rightarrow S_B(t),$$

и оценить меру близости векторов $S(t)$ и $S_B(t)$:

$$\rho(t) = \text{abs}(S(t) - S_B(t)).$$

Существует обратная задача: при заданных векторах $S(t)$ и $T_x(t)$ необходимо определить область (рубеж применения (РП)), откуда может быть обеспечено воздействие РТС на характеристики ЭС в некоторой точке ее области существования в момент времени t , т.е. построить функцию:

$$G_T(t) = \Phi_T(S(t), T_x(t)),$$

где $\{G_T(t)\} = \{x_T(t), y_T(t), z_T(t)\}$ – множество точек РП РТС.

Для всей области существования ЭС РП РТС в момент времени t

$$\{G_T(t; V)\} = \int_V \Phi_T(t) dv.$$

Для решения данных задач предлагается зонный подход, основные задачи которого представлены на рис. 1.

Если необходимо обеспечить одномоментное воздействие на характеристики ЭС и если из любой точки множества $\{G_T(t; V)\}$ возможно воздействие в этот момент t на

всю область ЭС, то достаточно одного РТС. В противном случае необходимо применение РТК в составе определенного количества РТС.

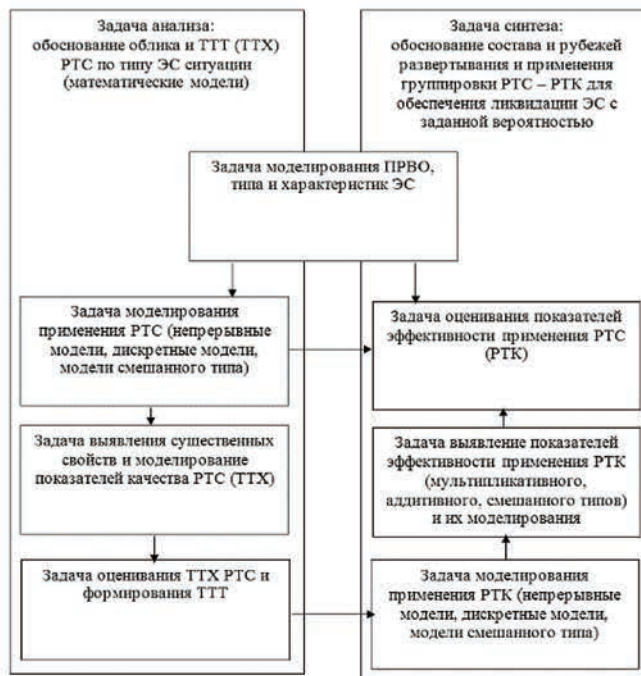


Рис.1. Зонный подход к решению задачи синтеза РТКС ликвидации ЭС

Для всего интервала времени Δt существования ЭС в точке ее области

$$\{G_T(t; \Delta t)\} = \int_{\Delta t} \Phi_T(t) dt.$$

Если временной ресурс применения РТС Δt_p больше времени Δt , то достаточно одного РТС. В противном случае необходимо применение РТК в составе определенного количества РТС.

Для всей области при непрерывном интервале времени существования ЭС множество точек РП определяется по формуле

$$\{G_T(t; V; \Delta t)\} = \int_{\Delta t} \int_V \Phi_T(t) dv dt.$$

Под необходимыми условиями применимости РТК в ЭС понимаются условия, без соблюдения которых применение РТК невозможно либо нецелесообразно. Их можно разделить на две группы:

- условия соответствия состава операционных характеристик РТС (РТК) составу характеристик ЭС;
- условия соответствия параметров операционных характеристик РТС (РТК) пространственно-временным характеристикам ЭС.

Под операционной характеристикой РТС (РТК) понимается заложенная при разработке РТС (РТК) способность, проявляющаяся в ее возможности осуществлять опреде-

ленные операции (контроль окружающей обстановки, горизонтальное и вертикальное перемещение, возможность воздействия водой, пеной и т.д.).

Под параметром операционной характеристики РТС (РТК) понимается количественное или качественное значение способности РТС (РТК) выполнять предусмотренные конструкцией операции (разрешающая способность средств контроля, дальность (радиус) действия датчика, скорость перемещения движителя, радиус действия манипулятора и др.)

Под эффектом воздействия РТС (РТК) на ЭС понимается результат, проявляющийся в таком влиянии операционной характеристики РТС (РТК) на характеристику ЭС, при котором происходит понижение ее количественного уровня или ее устранение.

Допущения: если операционная характеристика РТС (РТК) соответствует характеристике ЭС, то обязательно существует эффект от ее воздействия по этой характеристике.

Необходимые условия соответствия состава операционных характеристик РТК составу характеристик ЭС.

Пусть $\alpha_i = \langle \alpha_i^{(1)}, \alpha_i^{(2)}, \dots, \alpha_i^{(ki)} \rangle$ – вектор характеристик i -й ЭС, задаваемый в пространстве B_{ki} , задачами устранения которых является применение РТК;

$\omega_j = \langle \omega_j^{(1)}, \omega_j^{(2)}, \dots, \omega_j^{(kj)} \rangle$ – вектор операционных характеристик j -й РТС, задаваемый в пространстве B_{kj} : возможно $\cap B^{kj} \neq \emptyset$;

$\Omega_m = \langle \Omega_m^{(1)}, \Omega_m^{(2)}, \dots, \Omega_m^{(km)} \rangle$ – вектор операционных характеристик m -го РТК, задаваемый в пространстве B_{km} , где k_i, k_j, k_m – размерности соответствующих пространств.

Необходимым условием связи картежей операционных характеристик m -го РТК и операционных характеристик входящих в его состав РТС является

$$B^{km} = \bigcup_{ki} B^{kj}.$$

Критерий пригодности m -го РТК для применения в i -й ЭС по показателю соответствия состава его операционных характеристик составу характеристик ЭС имеет вид

$$B^{ki} \subset B^{km}.$$

Для установления соответствия характеристик i -й ЭС операционным характеристикам m -го РТК может быть построена матрица инцидентности M (выделена цветом) (рис.2).

$M =$		α_i^1	α_i^2	...	α_i^q	...	α_i^{ki}	F_{km}^{ki}
	Ω_m^1	1	0	...	1	...	1	F_{km}^1
	Ω_m^2	0	0	...	0	...	1	F_{km}^2
	-
	Ω_m^n	0	0	...	p_n^q	...	0	F_{km}^n
	-
	Ω_m^{km}	1	0	...	0	...	1	F_{km}^{km}
	f_{km}^{ki}	f_{km}^1	f_{km}^2	...	f_{km}^q	...	f_{km}^{ki}	

Рис.2. Матрица инцидентности M и показатели соответствия характеристик i -й ЭС операционным характеристикам m -го РТК

На рис. 2 через p_n^q обозначен идентификатор соответствия q -й характеристике i -й ЭС n -й операционной характеристике m -го РТК:

$$p_n^q = \begin{cases} 1, & \text{если имеется воздействие } n\text{-й операционной} \\ & \text{характеристики } m\text{-го РТК по } q\text{-й харак-} \\ & \text{теристике } i\text{-й ЭС;} \\ 0, & \text{если воздействие } n\text{-й операционной ха-} \\ & \text{рактеристики } m\text{-го РТК по } q\text{-й характе-} \\ & \text{ристике } i\text{-й ЭС отсутствует.} \end{cases}$$

Аддитивный показатель (рис. 2) возможности воздействия по q -й характеристике i -й ЭС по всем операционным характеристикам РТК имеет вид:

$$f_{km}^q = \sum_{n=1}^{km} p_n^q$$

По данному показателю может быть сформирован критерий потенциальной (априорной) пригодности m -го РТК для воздействия по q -й характеристике i -й ЭС

$$f_{km}^q \geq 1.$$

Минимальное значение f_{km}^{\min} характеризует наиболее уязвимые места с позиций защиты и ликвидации поражающих факторов ЭС

$$f_{km}^{\min} = \min_{ki} f_{km}^{ki}.$$

Аддитивный показатель (рис.2) возможности применения в i -й ЭС m -го РТК имеет вид:

$$F_{km}^n = \sum_{n=1}^{ki} p_n^q.$$

По данному показателю может быть сформулирован критерий потенциальной (априорной) пригодности состава операционных характеристик m -го РТК составу характеристик i -й ЭС:

$$F_{km}^{ki} \neq 0.$$

Максимальное значение F_{km}^{\max} характеризует наибольшую эффективность n -й операционной характеристики m -го РТК для устранения характеристик ЭС

$$F_{km}^{\max} = \max_{ki} F_{km}^{ki}$$

Ранжирование по эффективности операционных характеристик РТК для устранения характеристик ЭС позволит определить наиболее эффективные РТС из состава РТК для устранения данной ЭС и определить начальное расположение РТС при зонном подходе к ликвидации ЭС.

Основными операционными характеристиками для каждой j -й РТС являются размеры и конфигурация области действия манипуляционной подсистемы (ОДМП) – множество точек Q_j , задаваемое в связанной с РТС системе координат, которую можно считать постоянной (рис.3).

Если обозначить через $Q_j(t)$ множество точек Q_j в момент времени t в связанной с i -й ЭС системе координат $OXYZ$ (рис. 3), то ОДМП j -й РТС в ЭС – Q_j определится из соотношения

$$Q_{jП} = \int_{T_{ji}} Q_{jП}(t) dt,$$

где $T_{ji} \subset T_i$ – время применения j -й РТС в i -й ЭС;
 T_i – время существования ЭС.

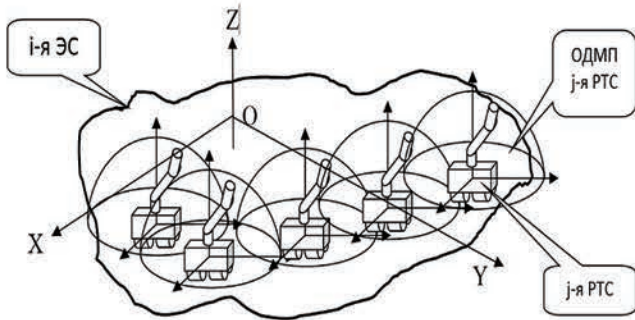


Рис.3. Области действия манипуляционных подсистем РТС в составе РТК

Область применения манипуляционных подсистем РТС m -го РТК в i -й ЭС тогда является объединением множеств Q_{jm} :

$$Q_j = \bigcup_j Q_{jП}. \quad (1)$$

Возможны три варианта пересечения областей, покрываемых j -й и k -й РТС, представленные на рис. 4.

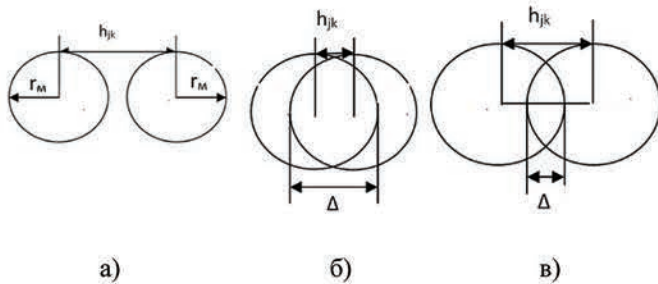


Рис.4. Возможные зоны пересечения РТС

Первый вариант возникает, когда расстояния между центрами манипуляционных подсистем j -й и k -й РТС h_{jk} превышает двойной радиус действия манипуляционной подсистемы $h_{jk} \geq 2r_M$. В этом случае области, покрываемые РТС, вообще не пересекаются, поэтому величина пересечения областей $\Delta = 0$ (рис. 4а).

Второй вариант возникает, когда $r_M \leq h_{jk} < 2r_M$. При этом значение величины Δ будет равно $\Delta = h_{jk} - 2(h_{jk} - r_M) = h_{jk} - 2h_{jk} + 2r_M = 2r_M - h_{jk}$ (рис. 4б).

В третьем варианте $h_{jk} < r_M$. При этом значение величины Δ будет равно $\Delta = 2(r_M - h_{jk}) + h_{jk} = 2r_M - 2h_{jk} + h_{jk} = 2r_M - h_{jk}$ (рис. 4в).

Таким образом, величина пересечения областей, покрываемых j -й и k -й РТС будет равна

$$\Delta = \begin{cases} 0, & \text{если } h_{jk} \geq 2r_M, \\ 2r_M - h_{jk}, & \text{если } h_{jk} < r_M. \end{cases} \quad (2)$$

В зависимости от решаемой задачи и способа применения РТК существует два типа необходимых условий применимости РТК:

– условие минимального пересечения областей покрытия РТС, характерное для граничных зон экстремальных ситуаций, такое, что в любой момент времени $t \in T_i$
 $\Delta > 0$ и $\Delta \rightarrow \min$.

– условие максимального пересечения областей покрытия РТС, характерное для эпицентра экстремальных ситуаций, такое, что в любой момент времени $t \in T_i$
 $\Delta > 0$ и $\Delta \rightarrow \max$.

Предлагаемые необходимые условия и критерии могут быть использованы для априорного оценивания возможностей применения РТК для ликвидации ЭС.

Методика формирования характеристик РТК ликвидации ЭС

Одной из характеристик применения РТК, состоящего из совокупности РТС, в ЭС является количество РТС с заданными операционными характеристиками.

На первом этапе с помощью средств мониторинга окружающей обстановки определяется вектор характеристик ЭС $\alpha_i = \langle \alpha_i^{(1)}, \alpha_i^{(2)}, \dots, \alpha_i^{(ki)} \rangle$.

В качестве множества пространственно-временных характеристик ЭС в позиционном районе (ПР) части запуска космических аппаратов (ЧЗ КА) могут выступать (рис. 5):

- пространственное положение эпицентра (точка), возможно изменяющееся во времени (линия, траектория движения, трасса эпицентра ЭС), задаваемое в некоторой системе координат;
- скорость перемещения эпицентра, возможно изменяющаяся во времени (например, $V(t) = \langle V_x(t), V_y(t), V_z(t), t \rangle$);
- пространственные характеристики и размеры, возможно изменяющиеся во времени (например, поверхность (линия) фронта ЭС $\{R(t)\} = \{ \langle a_i(t), a_j(t), \dots, a_k(t), t \rangle \}$;
- времена существования - Δt .

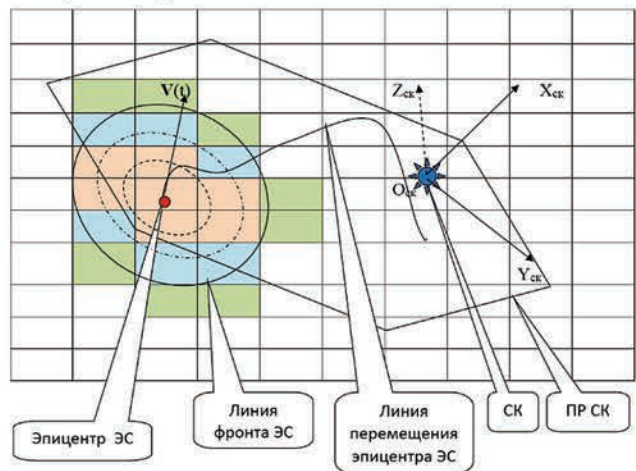


Рис.5. Отображение ЭС с привязкой к ПР ЧЗ КА

На втором этапе область ЭС, которая представляет собой неправильную геометрическую форму, аппроксимируется геометрическими фигурами, параметры которых определяются характеристиками РТС, а именно областью действия манипуляционной подсистемы, которые целесообразно представлять прямоугольными «кубами» или «параллелепипедами», задаваемыми в системе координат $O_{ск}X_{ск}Y_{ск}Z_{ск}$ (рис. 6).

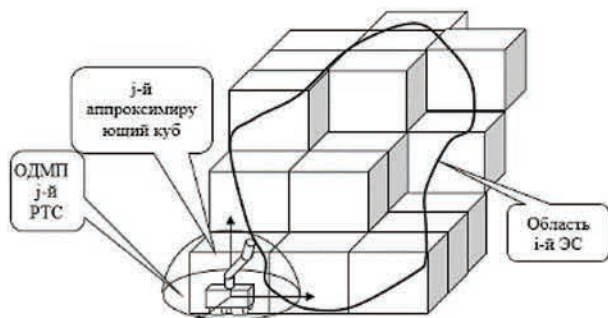


Рис.6. Аппроксимация области ЭС ОДМП РТС

При этом требуется обеспечить сплошное покрытие области ЭС и минимальную разницу между аппроксимирующей областью и областью ЭС – $S_A - S_{ЭС} \rightarrow \min$.

На третьем этапе определяется вариант построения РТС по воздействию операционных характеристик РТС (РТК) на характеристики ЭС. В качестве вариантов построения РТС могут использоваться фронтальное, круговое и комбинированное построение РТС.

Пусть области воздействия манипуляционных подсистем РТС, составляющих РТК, имеют форму шара. Для построения области сплошного воздействия РТС должно выполняться соотношение (1), т.е. области воздействия манипуляционных подсистем РТС должны пересекаться, образуя объем ограниченный цилиндрической поверхностью.

Для равноразмерных областей воздействия манипуляционных подсистем РТС шаровой формы радиуса r_m радиус цилиндрической поверхности $r_{ц}$ как функция расстояния между центрами манипуляционных подсистем h_{jk} при фронтальном построении РТС относительно эпицентра ЭС определяется зависимостью (рис. 7)

$$r_{ц} = \sqrt{r_M^2 - \left(\frac{h_{jk}}{2}\right)^2}.$$

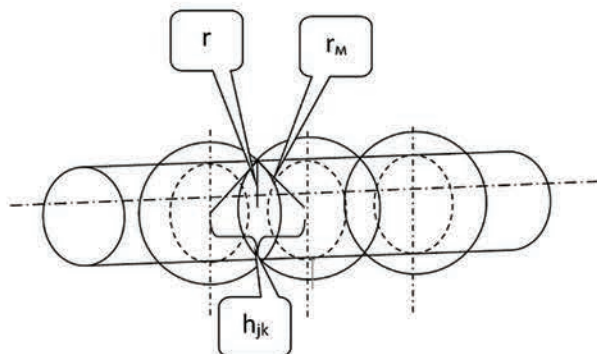


Рис.7. Область воздействия при фронтальном построении РТС

Для равноразмерных областей воздействия манипуляционных подсистем РТС шаровой формы радиуса r_m радиус цилиндрической поверхности r как функция расстояния между центрами манипуляционных подсистем – h_{jk} при круговом построении РТС на расстоянии R от эпицентра ЭС определяется зависимостью (рис.8)

$$r_{ц} = \sqrt{r_M^2 - \left(\frac{h_{jk}}{2}\right)^2} + \sqrt{R^2 - \left(\frac{h_{jk}}{2}\right)^2} - R.$$

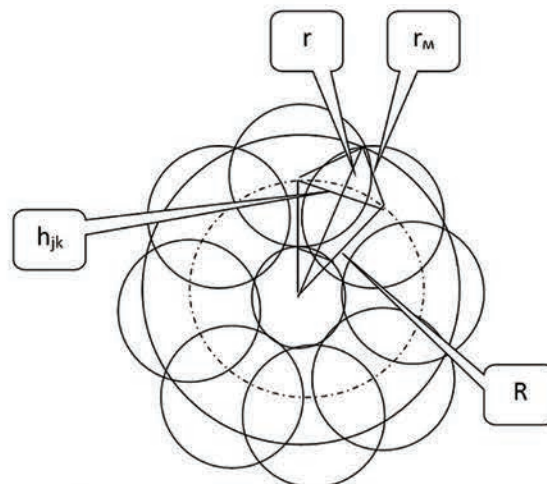


Рис.8. Область воздействия при круговом построении РТС

На четвертом этапе рассчитывается вероятность ликвидации ЭС как произведение вероятности ликвидации РТК опасных факторов в области действия манипуляционной подсистемы (ОДМП) на коэффициент покрытия пространственной области ЭС:

$$P_{ликвЭС} = K_V P_{РТК} = \frac{\sum_{j=1}^n V_{РТКj}^{ОДМП}}{V_{ЭС}} P_{РТК},$$

где K_V – коэффициент покрытия пространственной области ЭС ОДМП РТК;

$V_{РТКj}^{ОДМП}$ – ОДМП j -й РТК;

$V_{ЭС}$ – пространственная область ЭС;

$P_{РТК}$ – вероятность ликвидации РТК опасных факторов.

Для точного расчета вероятности ликвидации ЭС следует учесть, что в результате сплошного покрытия области ЭС образуются области пересечения действий манипуляционных подсистем соседних РТС. Вероятность ликвидации РТК опасных факторов для непересекающихся областей определяется как произведение вероятностей ликвидации опасных факторов входящих в его состав РТС:

$$P_{РТК} = P_{РТК1} P_{РТК2} \dots P_{РТКn}.$$

Для пересекающихся областей вероятность ликвидации РТК опасных факторов для области пересечения j -й и k -й РТС будет равна

$$P_{РТК} = 1 - (1 - P_{РТКj})(1 - P_{РТКk}).$$

По вычисленным по выражению (2) величинам областей пересечения рассчитывается вероятность ликвидации ЭС по следующему выражению:

$$P_{РТК} = \frac{\sum_{j=1}^n V_{РТСj}^{\text{ОДМП}} \prod_{j=1}^n P_{РТСj} + \sum_{j=1}^k V_{РТСj}^{\text{АОДМП}} (1 - (1 - P_{РТСj})^k)}{V_{ЭС}}$$

где $V_{РТСj}^{\text{ОДМП}}$ – непересекающиеся ОДМП РТС;

$V_{РТСj}^{\text{АОДМП}}$ – пересекающиеся ОДМП РТС;

$P_{РТС}$ – вероятность ликвидации опасных факторов РТС.

На пятом этапе в соответствии с выбранным критерием эффективности по рассчитанному значению вероятности ликвидации ЭС определяется пригодность выбранного способа построения РТС для ликвидации ЭС. Если выбранный способ построения РТС для ликвидации ЭС не удовлетворяет критериям эффективности, то определяется другой способ построения РТС и повторяются этапы 3-4.

На шестом этапе для наиболее эффективного способа построения РТС по воздействию операционных характеристик РТК на характеристики ЭС определяется минимально требуемое количество РТС комплексно применяемых по области ЭС.

Минимально избыточное число «слоев» параллельных основной плоскости $OскХскУск$ (горизонтальных слоев) определяется зависимостью

$$M_z = E[(Z_{max} - Z_{min})/a] + 1, \quad (3)$$

где Z_{max} , Z_{min} – максимальная и минимальная координата области ЭС по оси $Z_{ск}$;

a – сторона квадрата сечения зоны сплошного воздействия МП РТС.

Для каждого i -го слоя число рядов зон сплошного воздействия МП РТК вдоль оси $Уск$ вычисляется по формуле

$$M_{zyi} = E[(Y_{zi\ max} - Y_{zi\ min})/a] + 1, \quad (4)$$

где Y_{max} , Y_{min} – максимальная и минимальная координата z -го слоя области ЭС по оси $Уск$.

Для каждого j -го ряда i -го слоя число рядов зон сплошного воздействия МП РТК вдоль оси $Хск$ вычисляется по формуле

$$M_{zyj} = E[(X_{zyj\ max} - X_{zyj\ min})/a] + 1,$$

где $X_{zy\ max}$, $X_{zy\ min}$ – максимальная и минимальная координата области ЭС для zy -го ряда.

Общее число РТС, обеспечивающих зону сплошного воздействия МП РТК можно оценить по формуле

$$N = \sum_{i=1}^{M_z} \sum_{j=1}^{M_{zyi}} M_{zyj}$$

Если область ЭС задается координатами нижней и верхней граней ПРВО – $Z_{ПРВО\ max}$, $Z_{ПРВО\ min}$; размером прямоугольного параллелепипеда:

– длиной – $b ((X_{ПРВО\ max} - X_{ПРВО\ min})/b) = M_{ПРВОx}$ – целое число);

– шириной – $c ((Y_{ПРВО\ max} - Y_{ПРВО\ min})/c) = M_{ПРВОy}$ – целое число);

– высотой – $d ((Z_{ПРВО\ max} - Z_{ПРВО\ min})/d) = M_{ПРВОz}$ – целое число);

координатами нижней и верхней граней каждого z -го слоя ПРВО ЭС по оси $OскУск$ – $Y_{ПРВОz\ max}$, $Y_{ПРВОz\ min}$;

координатами нижней и верхней граней каждого zy -го ряда ПРВО ЭС по оси $OскХск$ – $X_{ПРВОzy\ max}$, $X_{ПРВОzy\ min}$, то возможны три ситуации:

- 1) $a = c = d$ и их боковые грани совпадают;
- 2) $a = c = d$, но их боковые грани не совпадают;
- 3) $a \neq c \neq d$.

В первом случае

$$M_z = (Z_{ПРВО\ max} - Z_{ПРВО\ min})/a,$$

$$M_{zy} = (Y_{ПРВО\ max} - Y_{ПРВО\ min})/a,$$

$$M_{zyx} = \begin{cases} E[b/a] + 1, & \text{если } a < b \\ 1, & \text{если } a \geq b. \end{cases}$$

где $[\cdot]$ – символ операции выделения целой части числа, и

$$N = M_z \sum_{x=1}^{M_{zy}} M_{zyx}$$

Во втором и третьем случае M_z и M_{zy} определяются по выражениям (3) и (4),

$$M_{zyx} = \begin{cases} E[b_m/a] + 1, & \text{если } a < b \\ 1, & \text{если } a \geq b. \end{cases}$$

где $b_m = \max X_{ПРВОzyj} - \min X_{ПРВОzyj}$,

j – индексы всех рядов ПРВО ЭС, пересечение которых с zy -м рядом зоны сплошного воздействия МП РТК вдоль оси $Хск$ не пусто, и

$$N = M_z \sum_{x=1}^{M_{zy}} M_{zyx}$$

В табл. 1 приведены промежуточные результаты численного оценивания минимально требуемого числа РТС в составе РТК для области ЭС в виде шара радиуса $R_{ЭС}$ в зависимости от расстояния между центрами однотипных ЗВ МП – $L = 0(0,01)0,4$ км РТС с $R = 0,20; 0,25; 0,30$ км. В этой таблице приведены значения радиуса окружности зоны сплошного воздействия РТС – r , стороны квадрата сечения зоны сплошного воздействия МП РТК – a и минимально избыточного числа «слоев», параллельных основной плоскости $OскХскУск$ (горизонтальных слоев) – M_z . В ней же приведены зависимости количества РТС в составе РТК, обеспечивающих их сплошное хотя бы однократное воздействие по всей области ЭС, в функции от L .

Соответствующие графики, полученные интерполяцией данных табл.1 для любых значений L из указанного диапазона приведены на рис.2.

На рис. 2 график синего цвета соответствует $R = 0,20$ км, красного цвета – $R = 0,25$ км, зеленого цвета – $R = 0,30$ км.

Таблица 1

Результаты численного оценивания минимально
потребного числа РТС в составе РТК для области ЭС
в виде шара радиуса $R_{ЭС}$

$R_{ЭС}$ км	L км	r км	a км	Mz	M		
					R=0,2 км	R=0,25 км	R=0,3 км
0,3	0	0,2	0,2828427	3			
0,3	0,01	0,19993	0,2827543	3	88	58	46
0,3	0,02	0,199749	0,2824889	3	44	29	23
0,3	0,03	0,199436	0,2820461	3	32	20	16
0,3	0,04	0,198997	0,2814249	3	26	15	12
0,3	0,05	0,198431	0,2806243	3	21	12	10
0,3	0,06	0,197737	0,2796426	3	18	10	8
0,3	0,07	0,196913	0,278478	3	17	9	7
0,3	0,08	0,195959	0,2771281	3	15	8	6
0,3	0,09	0,194871	0,2755903	3	14	7	6
0,3	0,1	0,193649	0,2738613	3	13	6	5
0,3	0,11	0,192288	0,2719375	3	13	6	5
0,3	0,12	0,19078	0,2698148	3	11	5	4
0,3	0,13	0,189142	0,2674883	3	11	5	4
0,3	0,14	0,18734	0,2649528	3	11	5	4
0,3	0,15	0,185404	0,2622022	3	10	4	4
0,3	0,16	0,183303	0,2592296	3	10	4	4
0,3	0,17	0,18103	0,2560273	3	10	4	3
0,3	0,18	0,178605	0,2525866	3	10	4	3
0,3	0,19	0,175997	0,2488976	3	10	4	3
0,3	0,2	0,173205	0,244949	3	9	3	3
0,3	0,21	0,170220	0,2407281	3	9	3	3
0,3	0,22	0,167032	0,2362202	3	10	3	3
0,3	0,23	0,163630	0,2314087	3	11	3	3
0,3	0,24	0,16	0,2262742	3	11	3	3
0,3	0,25	0,15612	0,220794	3	10	3	3
0,3	0,26	0,15198	0,2149419	3	10	3	3
0,3	0,27	0,14756	0,2086864	3	9	4	3
0,3	0,28	0,142828	0,2019901	3	8	4	2
0,3	0,29	0,137749	0,1948076	4	8	4	2
0,3	0,3	0,132287	0,1870829	4	10	3	2
0,3	0,31	0,126392	0,1787456	4	14	5	2
0,3	0,32	0,12	0,1697056	4	15	5	2
0,3	0,33	0,113026	0,1598437	4	16	6	2
0,3	0,34	0,105356	0,1489966	5	19	6	2
0,3	0,35	0,096824	0,1369306	5	22	6	2
0,3	0,36	0,087177	0,1232883	5	28	6	2
0,3	0,37	0,075993	0,1074709	6	37	7	2
0,3	0,38	0,06244	0,0883176	7	49	7	2
0,3	0,39	0,044440	0,062849	10	63	7	2

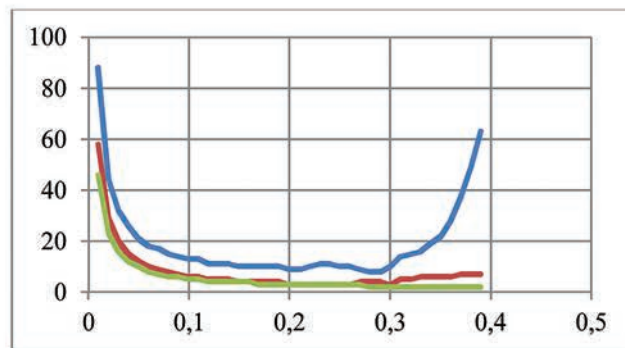


Рис. 9. Зависимость количества РТС от расстояния между центрами однотипных ЗВ МП

Приведенные математические модели демонстрируют необходимость использования зонного подхода к планированию и оцениванию эффективности применения РТС и РТК в ЭС, требующего своего развития в рамках соответствующей теории.

Заключение

Рассмотрены необходимые условия применимости РТК для ликвидации ЭС с позиций соответствия операционных характеристик РТК пространственно-временным характеристикам ЭС, а также описаны этапы методики формирования характеристик РТК ликвидации ЭС для обеспечения максимального воздействия на характеристики ЭС. Зонный подход к ликвидации ЭС позволяет определить наиболее эффективный вариант построения РТС по воздействию операционных характеристик $\omega_j = \langle \omega_j^{(1)}, \omega_j^{(2)}, \dots, \omega_j^{(kj)} \rangle$ имеющих РТС на характеристики ЭС $\alpha_i = \langle \alpha_i^{(1)}, \alpha_i^{(2)}, \dots, \alpha_i^{(ki)} \rangle$, или сформировать требования к операционным характеристикам разрабатываемых РТС (РТК) для эффективного воздействия на характеристики ЭС.

Литература

1. Тарасов А.Г. Перспективы создания робототехнических средств и комплексов подготовки и пуска ракет космического назначения // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2014. № 6. С. 72-75.
2. Тарасов А.Г., Минаков Е.П. Робототехнические комплексы автоматизированных систем управления подготовкой и пуском ракет космического назначения и показатели эффективности их применения // Промышленные АСУ и контроллеры. 2015. № 6. С. 19-24.
3. Тарасов А.Г., Минаков Е.П., Боровской Е.П. Развитие структуры автоматизированной системы управления подготовкой и пуском ракет космического назначения с целью автоматизации процессов устранения нештатных ситуаций // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 6. С. 16-21.
4. Тарасов А.Г. Системная согласованность управления безопасностью и живучестью в автоматизированной системе подготовки и пуска ракет космического назначения // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2015. № 1. С. -42-47.

5. Мотиенко А.И., Тарасов А.Г., Дорожко И.В., Басов О.О. Проактивное управление робототехническими системами спасения пострадавших // Труды СПИИРАН. 2016. Вып. 3 (46). С. 169-189.

6. Minakov E.P., Tarasov A.G. Problems and models of measurement the characteristics of robotics system use for emergency recovery at a missile deployment area of a space-vehicle launching unit // H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 88-95.

Для цитирования:

Минаков Е.П., Тарасов А.Г. Зонный подход к оцениванию характеристик робототехнических систем и комплексов ликвидации экстремальных ситуаций при подготовке и проведении пусков ракет космического назначения // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 4. С. 17–24.

ZONE APPROACH TO THE EVALUATION OF THE CHARACTERISTICS OF ROBOTIC SYSTEMS AND COMPLEXES LIQUIDATION OF EXTREME SITUATIONS IN THE PREPARATION AND LAUNCH A SPACE ROCKETS

Minakov Evgeny Petrovich,

St. Petersburg, Russia, ep.minakov12345@mail.ru

Tarasov Anatoly Gennadevich,

St. Petersburg, Russia, Atol-77@mail.ru

Abstract

High risks associated with the threat of man-made emergency situations and disasters, causing the need to find the most effective ways to improve the prevention, detection, localization of extreme situations and liquidation of their consequences. The extreme situation in the preparation and launching of space rockets – environment, down at the technical and launch complexes and the surrounding areas, characterized by the occurrence of factors an immediate threat to human health and life or the threat of disruption of their activities to the challenges of timely preparation and launch of space rockets. Prevention of extreme situations and their localization in the initial stage of development is the most important task in the development of new space-rocket complexes. A very urgent task is substantiation required number and optimal placement of liquidation robotic tools of extreme situations in the positional area of the launch, which are mainly from positions of safety and efficiency appropriate to apply robotic systems. The use of robotic systems liquidation of extreme situations – organized at the required level of goals, objectives, functions, place and time use of the existing controls on their arms robotic systems and defining the interaction of providing prompt and safe elimination of extreme situations. The paper proposes a zone approach to the use of robotic systems for the elimination of extreme situations in which developed the necessary conditions for the applicability of robotic systems in a particular emergency situation. The novelty of the approach lies in determining spatial and temporal characteristics of extreme situations and the formation of the composition of the robotic system, which will work as efficiently as possible to the factors an emergency to eliminate them with a given probability. This approach is proposed based on the minimax

criterion overlapping coverage of robotic systems to determine the most efficient possible (front, circular, combined) variant of construction of the robotic system.

Keywords: robotic system; an extreme situation; safety; the zone approach; the operating characteristics.

References

1. Tarasov A.G. Prospects of creation of robotic tools and systems training and startup space rockets. H&ES Research. 2014. Vol.6. No. 6. Pp. 72-75. (In Russian).
2. Minakov E.P., Tarasov A.G. Robotic systems of automated control systems preparation and launching of a space rocket and indicators of efficiency of their application. Industrial automation and controllers. 2015. No. 6. Pp. 19-24. (In Russian).
3. Minakov E.P., Tarasov A.G., Borovskoi E.P. The development of the structure of automated control system for preparation and launch of space rockets to automate processes of removing emergency situations. H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 6. Pp. 16-21. (In Russian).
4. Tarasov A.G. The system consistency management safety and survivability in the automated system preparation and launch of space rocket. H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 1. Pp. 42-47. (In Russian).
5. Motienko A.I., Tarasov A.G., Dorozhko I.V., Basov O.O. Proactive control of robotic systems for rescue operations. Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings. 2016. Vol. 3 (46). Pp. 169-189. (In Russian).
6. Minakov E.P., Tarasov A.G. Problems and models of measurement the characteristics of robotics system use for emergency recovery at a missile deployment area of a space-vehicle launching unit. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 88-95.

Information about authors:

Minakov E.P., Ph.D., professor in department of organizational-technical systems for space purposes, Military Space Academy;
Tarasov A.G., Ph.D., doctoral student, Military Space Academy.

For citation:

Minakov E.P., Tarasov A.G. Zone approach to the evaluation of the characteristics of robotic systems and complexes liquidation of extreme situations in the preparation and launch a space rockets. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 17–24. (In Russian).

ИНДИВИДУАЛЬНО-ГРУППОВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПО ЭКОНОМИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ

Миронов

Андрей Николаевич,
д.т.н., профессор кафедры
конструкции ракет-носителей
и ракетных двигателей
Военно-космической академии
имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
mironov-anik@yandex.ru

Новиков

Александр Николаевич,
к.т.н., доцент кафедры метроло-
гического обеспечения вооружения,
военной и специальной техники
Военно-космической академии
имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
novalloll@mail.ru

Малахов

Александр Владимирович,
адъюнкт кафедры метрологического
обеспечения вооружения,
военной и специальной техники
Военно-космической академии
имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
sanya-mal1@yandex.ru

Ключевые слова:

измерительные комплексы;
интенсивность метрологических
отказов; методы прогнозирования
остаточного ресурса машин
по экономическому критерию;
критерий недопустимого возрастания
эксплуатационных затрат; оценка
гамма-процентного остаточного
ресурса.

АННОТАЦИЯ

В современных условиях в связи с повышением требований к качественной оптимизации расходования материальных средств на поддержание многофункциональных измерительных комплексов, таких как подвижные лаборатории измерительной техники в готовности к применению с требуемой степенью надежности возникает необходимость обоснования предельных сроков эксплуатации измерительных комплексов по экономическому критерию, особенно, когда это касается решения вопроса о целесообразности модернизации измерительных комплексов, что в значительной мере определяется достоверностью оценки предельных сроков эксплуатации измерительных комплексов при условии невыхода объёмов затрат на эксплуатацию за установленные рамки.

В данной работе статистический подход к задаче прогнозирования предельного срока службы (остаточного ресурса) машин и оборудования, такого как многофункциональные измерительные комплексы, по экономическому критерию развивается на основе моделей, которые могут оказаться наиболее приемлемыми во многих реальных ситуациях, связанных с оценкой измерительных комплексов в условиях, когда причиной увеличения эксплуатационных затрат является возрастание стоимости поддержания измерительных комплексов в работоспособном состоянии в условиях повышения интенсивности отказов из-за старения аппаратной части измерительных комплексов и средств их ремонта и поверки. При этом показатель эксплуатационных затрат интегрально отражает рост стоимости устранения как аппаратных отказов, связанных с полной потерей возможности проведения измерений, так и метрологических отказов, возникающих при превышении погрешности измерений некоторого критического уровня, при котором качество измерений считается неудовлетворительным.

Предложена модель и алгоритм индивидуально-группового прогнозирования остаточного ресурса измерительных комплексов по критерию недопустимого возрастания эксплуатационных затрат. Признаком наступления предельного состояния для измерительных комплексов является достижение показателем «средние удельные эксплуатационные затраты» заданного предельно допустимого уровня.

Основным результатом прогнозирования с помощью данного алгоритма является оценка значения нижней доверительной границы гамма-процентного остаточного ресурса измерительных комплексов. Дополнительными результатами – точечные и интервальные прогнозные оценки изменения эксплуатационных затрат, а также прогнозные значения оценок вероятности невыхода эксплуатационных затрат за предельно допустимый уровень. В отличие от существующих методов прогнозирования остаточного ресурса машин и конструкций, основанных на детерминированных моделях физических процессов износа (накопление усталостных повреждений, изнашивание механизмов и т.п.) предложенный алгоритм позволяет существенно уменьшить номенклатуру и объем необходимых для проведения расчетов исходных данных с учетом специфики применения по назначению конкретного типа измерительных комплексов. Выходные результаты алгоритма могут быть использованы для обоснования решений по срокам модернизации находящихся в эксплуатации подвижных лабораторий измерительной техники.

1. Содержательная постановка задачи

Сущность индивидуально-группового метода прогнозирования остаточного ресурса заключается в том, что при малом числе точек временного ряда, описывающего изменение во времени эксплуатационных затрат, начальные (априорные) оценки параметров тренда получают на основе обработки дополнительной информации в виде однородной выборки временных рядов, получаемых при наблюдениях за однотипными измерительными комплексами (ИК) в сходных условиях эксплуатации.

Однородность выборки дополнительных временных рядов в нашем случае достигается следующим образом:

1. Из всего множества ИК формируется подмножество со статистикой наблюдений не более 6 кварталов (6 и менее).

2. Для каждой ИК из данного множества производится подбор группы ИК – статистических аналогов с условием, что каждая ИК обладает следующими одинаковыми характеристиками: одинаковый тип ИК; одинаковая элементная база; примерно одинаковые годы выпуска.

2. Математическая постановка задачи

Для нахождения значения $T_{\gamma o c m}^S$ – оценки нижней доверительной границы (НДГ) остаточного гамма-процентного ресурса по критерию недопустимого возрастания эксплуатационных затрат необходимо спрогнозировать изменение НДГ вероятности \tilde{P}_t^S – недостижения максимально допустимого уровня $S_{доп}$ средними удельными эксплуатационными затратами на интервале упреждения $t \in T_L = [t_n; t_{n+L}]$:

$$\tilde{P}_t^S = P(\tilde{S}_t \leq S_{доп}) \tag{1}$$

Тогда оценка НДГ остаточного гамма-процентного ресурса по критерию недопустимого возрастания эксплуатационных затрат вычисляется на основе следующего выражения:

$$T_{\gamma o c m}^S = T_{\gamma}^S - t_n, \tag{2}$$

где T_{γ}^S – оценка НДГ полного гамма-процентного ресурса, определяемая как

$$T_{\gamma}^S = \max t \mid \tilde{P}_t^S \geq \gamma / 100 \%, t \in T_L = [t_n; t_{n+L}], \tag{3}$$

т.е. T_{γ}^S – это такое максимальное значение времени эксплуатации ИК, при котором НДГ вероятности \tilde{P}_t^S не снижается ниже порога, равного $\gamma / 100\%$.

Для оценивания вероятности \tilde{P}_t^S воспользуемся зависимостью средних удельных эксплуатационных затрат S_t от времени для интервала наблюдения $[0, t_n]$.

В теории прогнозирования ресурса сложных технических систем [4-8] установлено, что в данном случае близкие к оптимальным оценки величин, входящих в модель процесса изменения во времени параметра,

определяющего величину ресурса, могут быть получены с использованием функции правдоподобия:

$$G(\{\mathcal{G}_k\}) = p(\{y_i\} / \{\mathcal{G}_k\})p(\{\mathcal{G}_k\}), \tag{4}$$

при построении которой задаются:

а) форма аппроксимирующего многочлена:

$$y(t_i) = \sum_{k=1}^m \mathcal{G}_k t_i^{k-1}; \tag{5}$$

б) нормальная функция распределения вероятностей результатов наблюдений:

$$p(y(t_i) / \{\mathcal{G}_k\}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_n}} e^{-\frac{(y_i - \sum_{k=1}^m \mathcal{G}_k t_i^{k-1})^2}{2D_n}}; \tag{6}$$

в) многомерная (трехмерная) функция распределения априорной вероятности коэффициентов аппроксимирующего многочлена:

$$p(\{\mathcal{G}_k\}) = \frac{1}{(2\pi)^{m/2} |\sigma_{kl}|^{1/2}} \times e^{-\frac{1}{2} \|\mathcal{G}_k - \theta_k\|^T \|\sigma_{kl}\|^{-1} \|\mathcal{G}_k - \theta_k\|} \tag{7}$$

где $|\sigma_{kl}|$ – определитель ковариационной матрицы; $\|\mathcal{G}_k - \theta_k\|^T$ – транспонированная матрица $\|\mathcal{G}_k - \theta_k\|$; $\|\sigma_{kl}\|^{-1}$ – матрица, обратная ковариационной, элементы этой матрицы далее будут обозначаться как σ_{kl}^{-1} .

Функция правдоподобия с учетом рассмотренных соотношений (5), (6) и (7) имеет вид:

$$G(\{\mathcal{G}_k\}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{m+n}{2}} \sigma_n^n |\sigma_{kl}|^{\frac{1}{2}}} \times e^{-\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \sum_{k=1}^m \mathcal{G}_k t_i^{k-1})^2}{2\sigma_n^2} - \frac{1}{2} \|\mathcal{G}_k - \theta_k\|^T \times \|\sigma_{kl}\|^{-1} \times \|\mathcal{G}_k - \theta_k\|} \tag{8}$$

Логарифмирование (8) дает логарифмическую функцию правдоподобия:

$$L(\{\mathcal{G}_k\}) = -\ln \left[(2\pi)^{\frac{m+n}{2}} \sigma_n^n |\sigma_{kl}|^{\frac{1}{2}} \right] - \sum_{i=1}^n \left(y_i - \sum_{k=1}^m \mathcal{G}_k t_i^{k-1} \right)^2 \frac{1}{2\sigma_n^2} - \frac{1}{2} \|\mathcal{G}_k - \theta_k\|^T \times \|\sigma_{kl}\|^{-1} \times \|\mathcal{G}_k - \theta_k\|. \tag{9}$$

Дифференцирование последнего выражения по всем \mathcal{G}_k с последующим приравниванием нулю производных приводит к системе из $m=3$ линейных уравнений, которая в матричной форме записывается в виде:

$$B\theta = C, \tag{10}$$

где θ – матрица-столбец неизвестных оценок коэффициентов аппроксимирующего многочлена (5);

$$B = \left\| \sum_{i=1}^n t_i^{k+l-2} + D_n \sigma_{kl}^{-1} \right\|; \tag{11}$$

$$C = \left\| \sum_{i=1}^n y_i t_i^{l-1} + \sum_{k=1}^m \theta_k D_n \sigma_{kl}^{-1} \right\|. \quad (12)$$

Решение системы (10) и дает совокупность апостериорных оценок $\hat{\theta}_k$ коэффициентов θ_k многочлена (5). Полученные оценки $\hat{\theta}_k$ составляют матрицу:

$$\hat{\theta} = \left\| \hat{\theta}_k \right\|. \quad (13)$$

После получения апостериорных оценок $\hat{\theta}_k$ производится оценивание доверительных интервалов прогноза и вычисляются оценки показателей остаточного ресурса ИК.

3. Описание алгоритма решения

Шаг 0. Ввод исходных данных (табл. 1):

$$N_t^Y = \{N_1^Y, N_2^Y, \dots, N_i^Y, \dots, N_n^Y\};$$

$$S_t; S_{доп}; t_n; n; T_L; L; \alpha; \gamma.$$

Шаг 1. Обработка априорных данных, $j = \overline{1, \Omega}$

1.1. Нахождение оценок параметров аппроксимирующего полинома b_j^l и c_j^l для всех априорных временных рядов $N_{ij}^l = \{N_{j1}^l, N_{j2}^l, \dots, N_{ji}^l, \dots, N_{jn}^l\}$, $j = \overline{1, \Omega}$ на основе решения системы нормальных уравнений, суммирование в которых осуществляется в пределах от $i=1$ до n_j^l :

$$\begin{cases} \sum N_t = an_j^l + b \sum t + c \sum t^2; \\ \sum N_t t = a \sum t + b \sum t^2 + c \sum t^3; \\ \sum N_t t^2 = a \sum t^2 + b \sum t^3 + c \sum t^4, \end{cases}$$

Данная система уравнений решается следующим образом:

1.1.1. Рассчитываются значения коэффициентов системы уравнений:

$$e_{11} = n_j^l; \quad e_{12} = e_{21} = \sum t = \frac{n_j^l(n_j^l + 1)}{2};$$

$$e_{13} = e_{22} = e_{31} = \sum t^2 = \frac{n_j^l(n_j^l + 1)(2n_j^l + 1)}{6};$$

Таблица 1

№ п/п	Наименование исходного параметра	Обозначение	Размерность
1	$N_t^Y = \{N_1^Y, N_2^Y, \dots, N_i^Y, \dots, N_n^Y\}$ - прогнозируемый временной ряд из чисел отказов за один квартал	N_t^Y	Ед.
2	Число точек прогнозируемого временного ряда	n^Y	Ед.
3	$N_{ij}^l = \{N_{j1}^l, N_{j2}^l, \dots, N_{ji}^l, \dots, N_{jn}^l\}$, $j = \overline{1, \Omega}$ - априорные временные ряды из чисел отказов за один квартал;	N_{ij}^l	Ед.
4	Числа точек априорных временных рядов	n_j^l	Ед.
5	Коэффициенты пересчета числа отказов N (компонентов временного ряда) в эксплуатационные затраты	A, B	-
6	Значение предельно допустимого уровня средних удельных затрат на эксплуатацию ИК (за 1 квартал)	$S_{доп}$	Ед. ср. уд. затрат
7	Продолжительность эксплуатации на момент прогнозирования остаточного ресурса	t_n	Ед. времени
8	Длительность интервала упреждения прогноза	T_L	Ед. времени
9	Число шагов интервала упреждения прогноза	L	В кварталах
10	Значение доверительной вероятности прогноза	α	-
11	Значение гамма-процентного уровня прогноза	γ	%
12	Значение t -критерия Стьюдента уровня α	t_α	-

$$e_{23} = e_{32} = \sum t^3 = \frac{n_j^2(n_j+1)^2}{4};$$

$$e_{33} = \sum t^4 = \frac{n_j^2(n_j+1)(2n_j+1)(3n_j^2+3n_j-1)}{30};$$

$$z_1 = \sum N_t; z_2 = \sum N_t t; z_3 = \sum N_t t^2.$$

1.1.2. Рассчитывается значение определителя матрицы коэффициентов:

$$\Delta = e_{11}e_{22}e_{33} + e_{12}e_{23}e_{31} + e_{13}e_{21}e_{32} - e_{13}e_{22}e_{31} - e_{12}e_{21}e_{33} - e_{11}e_{23}e_{32}$$

1.1.3. Рассчитывается значения определителей матриц, в которых один из столбцов, соответствующий искомому коэффициенту полинома, заменен на столбец свободных членов:

$$\Delta_a = z_1e_{22}e_{33} + e_{12}e_{23}z_3 + e_{13}z_2e_{32} - e_{13}e_{22}z_3 - e_{12}z_2e_{33} - z_1e_{23}e_{32}$$

$$\Delta_b = e_{11}z_2e_{33} + z_1e_{23}e_{31} + e_{13}e_{21}z_3 - e_{13}z_2e_{31} - z_1e_{21}e_{33} - e_{11}e_{23}z_3$$

$$\Delta_c = e_{11}e_{22}z_3 + e_{12}z_2e_{31} + z_1e_{21}e_{32} - z_1e_{22}e_{31} - e_{12}e_{21}z_3 - e_{11}z_2e_{32}$$

1.1.4. Рассчитываются значения параметров аппроксимирующего полинома:

$$a = \frac{\Delta_a}{\Delta}; \quad b = \frac{\Delta_b}{\Delta}; \quad c = \frac{\Delta_c}{\Delta}.$$

1.2. Нахождение априорных оценок математических ожиданий параметров аппроксимирующего полинома:

$$\Xi_1 = \frac{\sum_{j=1}^{\Omega} a_j^I}{\Omega}; \quad \Xi_2 = \frac{\sum_{j=1}^{\Omega} b_j^I}{\Omega}; \quad \Xi_3 = \frac{\sum_{j=1}^{\Omega} c_j^I}{\Omega}.$$

1.3. Расчет оценок элементов ковариационной матрицы $\|\sigma_{kl}\|$, $k, l = 1, 2, 3$.:

$$\sigma_{11} = \frac{1}{\Omega-1} \sum_{i=1}^{\Omega} \sum_{j=1}^{\Omega} (a_i^I - \Xi_1)(a_j^I - \Xi_1);$$

$$\sigma_{12} = \frac{1}{\Omega-1} \sum_{i=1}^{\Omega} \sum_{j=1}^{\Omega} (a_i^I - \Xi_1)(b_j^I - \Xi_2);$$

$$\sigma_{13} = \frac{1}{\Omega-1} \sum_{i=1}^{\Omega} \sum_{j=1}^{\Omega} (a_i^I - \Xi_1)(c_j^I - \Xi_3);$$

$$\sigma_{22} = \frac{1}{\Omega-1} \sum_{i=1}^{\Omega} \sum_{j=1}^{\Omega} (b_i^I - \Xi_2)(b_j^I - \Xi_2);$$

$$\sigma_{23} = \frac{1}{\Omega-1} \sum_{i=1}^{\Omega} \sum_{j=1}^{\Omega} (b_i^I - \Xi_2)(c_j^I - \Xi_3);$$

$$\sigma_{33} = \frac{1}{\Omega-1} \sum_{i=1}^{\Omega} \sum_{j=1}^{\Omega} (c_i^I - \Xi_3)(c_j^I - \Xi_3);$$

$$\sigma_{21} = \sigma_{12}; \quad \sigma_{31} = \sigma_{13}; \quad \sigma_{32} = \sigma_{23}.$$

1.4. Расчет априорной оценки D_n случайной составляющей временного ряда:

$$D_n = \frac{\sum_{j=1}^{\Omega} \sum_{i=1}^{n_j^I} \left[N_{ji}^I - (a_j^I + b_j^I t_i + c_j^I t_i^2) \right]^2}{n_j^I - 1}.$$

Шаг 2. Подготовка априорной информации B_I, C_I .

2.1. Обращение ковариационной матрицы $\|\sigma_{kl}\|$:

$$\|\sigma_{kl}\|^{-1} = \|\sigma_{kl}^{obp}\| = \left\| \frac{\sigma_{kl}^*}{|\sigma_{kl}|} \right\|,$$

где

$$|\sigma_{kl}| = \sigma_{11}\sigma_{22}\sigma_{33} + 2\sigma_{12}\sigma_{13}\sigma_{23} - \sigma_{11}\sigma_{23}^2 - \sigma_{22}\sigma_{13}^2 - \sigma_{33}\sigma_{12}^2;$$

$$\sigma_{11}^* = \sigma_{22}\sigma_{33} - \sigma_{23}^2; \quad \sigma_{22}^* = \sigma_{11}\sigma_{33} - \sigma_{13}^2;$$

$$\sigma_{33}^* = \sigma_{11}\sigma_{22} - \sigma_{12}^2; \quad \sigma_{12}^* = \sigma_{13}\sigma_{23} - \sigma_{12}\sigma_{33};$$

$$\sigma_{13}^* = \sigma_{12}\sigma_{23} - \sigma_{13}\sigma_{22}; \quad \sigma_{23}^* = \sigma_{12}\sigma_{13} - \sigma_{23}\sigma_{11}.$$

2.2. Нахождение левой информационной матрицы B_I :

$$B_I = D_n \|\sigma_{kl}\|^{-1} = \left\| D_n \sigma_{kl}^{obp} \right\| = \left\| D_n \frac{\sigma_{kl}^*}{|\sigma_{kl}|} \right\|.$$

2.3. Нахождение правой информационной матрицы C_I :

$$C_I = B_I \|\Xi\| = \left\| \sum_{k=1}^3 \Xi_k D_n \sigma_{kl}^{obp} \right\| = \left\| \begin{matrix} \Xi_1 D_n \frac{\sigma_{11}^*}{|\sigma_{kl}|} + \Xi_2 D_n \frac{\sigma_{12}^*}{|\sigma_{kl}|} + \Xi_3 D_n \frac{\sigma_{13}^*}{|\sigma_{kl}|} \\ \Xi_1 D_n \frac{\sigma_{21}^*}{|\sigma_{kl}|} + \Xi_2 D_n \frac{\sigma_{22}^*}{|\sigma_{kl}|} + \Xi_3 D_n \frac{\sigma_{23}^*}{|\sigma_{kl}|} \\ \Xi_1 D_n \frac{\sigma_{31}^*}{|\sigma_{kl}|} + \Xi_2 D_n \frac{\sigma_{32}^*}{|\sigma_{kl}|} + \Xi_3 D_n \frac{\sigma_{33}^*}{|\sigma_{kl}|} \end{matrix} \right\|.$$

Шаг 3. Подготовка измерительной информации B_Y ,

C_Y .

3.1. Вычисление левой измерительной матрицы B_Y :

$$B_Y = \|b_{kl}\| = \left\| \sum_{i=1}^{n^Y} t_i^{k+l-2} \right\| = \left\| \begin{matrix} n^Y & \sum_{i=1}^{n^Y} t_i & \sum_{i=1}^{n^Y} t_i^2 \\ \sum_{i=1}^{n^Y} t_i & \sum_{i=1}^{n^Y} t_i^2 & \sum_{i=1}^{n^Y} t_i^3 \\ \sum_{i=1}^{n^Y} t_i^2 & \sum_{i=1}^{n^Y} t_i^3 & \sum_{i=1}^{n^Y} t_i^4 \end{matrix} \right\|.$$

3.2. Вычисление правой измерительной матрицы C_Y :

$$C_Y = \|c_l\| = \left\| \sum_{i=1}^{n^Y} N_i^Y t_i^{l-1} \right\| = \left\| \begin{matrix} \sum_{i=1}^{n^Y} N_i^Y \\ \sum_{i=1}^{n^Y} N_i^Y t_i \\ \sum_{i=1}^{n^Y} N_i^Y t_i^2 \end{matrix} \right\|.$$

Шаг 4. Формирование полных матриц общей системы уравнений B и C .

$$B = B_Y + B_I = \left\| \sum_{i=1}^{n^Y} t_i^{k+l-2} + D_n \sigma_{kl}^{обп} \right\|; C = C_Y + C_I = \left\| \sum_{i=1}^{n^Y} N_i^Y t_i^{l-1} + \sum_{k=1}^3 \Xi_k D_n \sigma_{kl}^{обп} \right\|$$

Шаг 5. Решение системы линейных уравнений в матричной форме с нахождением апостериорных значений параметров аппроксимирующего полинома v'_k , $k = 1, 2, 3$.

$$B \Xi' = C; \quad \Xi' = \|v'_k\|, \text{ где } v'_k \text{ -совокупность наиболее}$$

правдоподобных оценок многочлена $\tilde{N}_t = \sum_{k=1}^3 v'_k t_i^{k-1}$.

Шаг 6. Расчет упрежденного значения прогноза 8 для момента $t_i \in [1, T_L]$:

$$\tilde{N}_t = v'_1 + v'_2 t_i + v'_3 t_i^2.$$

Шаг 7. Вычисление дисперсии прогноза D_t :

7.1. Вычисление частных измерительных матриц C_i ,

$$i = \overline{1, n^Y}, C_i = \|C_{il}\| = \|t_i^{l-1}\|,$$

$$C_1 = \left\| \begin{matrix} 1 \\ t_1 \\ t_1^2 \end{matrix} \right\|; C_2 = \left\| \begin{matrix} 1 \\ t_2 \\ t_2^2 \end{matrix} \right\|; C_{n^Y} = \left\| \begin{matrix} 1 \\ t_{n^Y} \\ t_{n^Y}^2 \end{matrix} \right\|.$$

7.2. Вычисление величин v_{ki} путем решения систем уравнений:

$$B \|v_{ki}\| = C_i, \quad i = \overline{1, n^Y}.$$

7.3. Расчет значений вспомогательных весовых коэффициентов h_i , $i = \overline{1, n^Y}$.

$$h_i = \sum_{k=1}^3 v_{ki} t_i^{k-1} = v_{1i} + v_{2i} t_i + v_{3i} t_i^2.$$

7.4. Вычисление значений невязки апостериорных и априорных значений параметров аппроксимирующего полинома Δv_k , $k = 1, 2, 3$: $\Delta v_k = v'_k - \Xi_k$.

7.5. Оценка составляющей погрешности за счет смещения $S_{см}^2$:

$$S_{см}^2 = \left[\sum_{k=1}^3 \Delta v_k \left(\sum_{i=1}^{n^Y} h_i t_i^{k-1} - t_i^{k-1} \right) \right]^2.$$

7.6. Оценка составляющей погрешности за счет случайной компоненты временного ряда $S_{сл}^2$: $S_{сл}^2 = D_n \sum_{i=1}^{n^Y} h_i^2$.

7.7. Вычисление значения оценки общей дисперсии прогноза D_t : $D_t = S_{см}^2 + S_{сл}^2$.

Шаг 8. Оценивание доверительного интервала прогноза $[\tilde{N}_t^H, \tilde{N}_t^G]$:

$$\tilde{N}_t^H = \tilde{N}_t - t_\alpha \sqrt{D_t}; \quad \tilde{N}_t^G = \tilde{N}_t + t_\alpha \sqrt{D_t},$$

где t_α есть значение t -статистики Стьюдента, рассчитанной для уровня доверительной вероятности α и $n^Y - 3$ степеней свободы.

Шаг 9. Расчет \tilde{S}_t^G - прогнозных значений верхней доверительной границы средних удельных затрат на эксплуатацию ИК: $\tilde{S}_t^G = A \tilde{N}_t^G + B$, $t \in T_L = [t_n; t_{n+L}]$.

Шаг 10. Расчет \tilde{S}_t^H - прогнозных значений нижней доверительной границы средних удельных затрат на эксплуатацию ИК: $\tilde{S}_t^H = A \tilde{N}_t^H + B$, $t \in T_L = [t_n; t_{n+L}]$.

Шаг 11. Расчет значений среднеквадратического отклонения нормального усеченного распределения средних удельных затрат на эксплуатацию ИК для каждого сечения $t \in T_L = [t_n; t_{n+L}]$ из уравнения: $\int_{\tilde{S}_t^H}^{\tilde{S}_t^G} \phi(\tilde{S}_t, \sigma_t^S) dS = \alpha$

Шаг 12. Расчет прогнозных значений \tilde{P}_t^S - НДГ вероятности недостижения максимально допустимого уровня $S_{доп}$ средними удельными затратами:

$$\begin{aligned} \tilde{P}_t^S &= \int_0^{S_{доп}} \phi(\tilde{S}_t, \sigma_t^S) dS; \quad \phi(\tilde{S}_t, \sigma_t^S) = \\ &= \frac{1}{\sigma_t^S \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(S - \tilde{S}_t)^2}{2\sigma_t^S{}^2} \right]; \quad t \in T_L = [t_n; t_{n+L}] \end{aligned}$$

Шаг 13. Расчет значений оценки НДГ полного гамма-процентного ресурса по критерию недопустимого возрастания эксплуатационных затрат:

$$T_\gamma^S = \max t \mid \tilde{P}_t^S \geq \gamma, \quad t \in T_L = [t_n; t_{n+L}].$$

Шаг 14. Расчет значений оценки НДГ остаточного гамма-процентного ресурса по критерию недопустимого возрастания эксплуатационных затрат по формуле:

$$T_{\gamma ост}^S = T_\gamma^S - t_n.$$

Литература

1. Ломакин М.И., Миронов А.Н., Бекасов С.Р. Методика анализа затрат на обеспечение функционирования средств связи // Транспортное дело России. 2013. № 5. С. 242–248.
2. Миронов Е.А., Гузенко В.Л., Клёпов А.В., Шестопалова О.Л. Обоснование предпочтительного варианта построения и функционирования системы технической эксплуатации территориально-распределенной информационной системы по вектору технико-экономических показателей // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13295> (дата обращения: 01.07.2016).
3. Логунов А.В. Методика технико-экономического обоснования вариантов модернизации составных частей наземных комплексов // Современные проблемы науки и образования.

2013. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9786> (дата обращения: 01.07.2016).

4. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. М.: Статистика, 1977. 200 с.

5. Силин В.Б., Заковряшин А.И. Автоматическое прогнозирование состояния аппаратуры управления и наблюдения. М.: Энергия, 1973. 336 с.

6. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984. 312 с.

7. Абрамов О.В., Розенбаум А.Н. Прогнозирование состояния технических систем. М.: Наука, 1990. 126 с.

8. Бобровников Г.Н., Клебанов А.И. Прогнозирование в управлении техническим уровнем и качеством продукции. М.: Изд-во стандартов, 1984. 232 с.

Для цитирования:

Миронов А.Н., Новиков А.Н., Малахов А.В. Индивидуально-групповое прогнозирование остаточного ресурса измерительных комплексов по экономическому критерию // Научное обеспечение космических исследований Земли. 2016. Т. 8. № 4. С. 25–30.

INDIVIDUAL AND GROUP FORECASTING RESIDUAL RESOURCE OF MEASURING COMPLEXES BY ECONOMIC CRITERION

Mironov Andrey Nikolaevich,

St. Petersburg, Russia, mironov-anik@yandex.ru

Novikov Alexandr Nikolaevich,

St. Petersburg, Russia, novallol@mail.ru

Malakhov Alexander Vladimirovich,

St. Petersburg, Russia, sanya-mal1@yandex.ru

Abstract

In modern conditions in connection with increase of requirements to high-quality optimization of an expenditure appliances on maintenance of the multipurpose measuring complexes (MC), such as mobile laboratories of measuring equipment in readiness for application with the demanded degree of reliability there is a need of justification deadlines of operation MC by economic criterion, especially, when it concerns the solution a question of expediency modernization MC that considerably is defined by reliability an assessment of deadlines operation MC on condition an absenteeism of volumes costs operation for the established framework.

In this work statistical approach to a problem of forecasting a deadline of service (a residual resource) industrial machines and equipment, such as the multipurpose measuring complexes by economic criterion develops on the basis of models which can be the most acceptable in many real situations connected with MC assessment in conditions when increase of cost maintenance MC in operating state in the conditions of increase failure rate because of aging the MC hardware and means of their repair and checking is the reason of increase in operational expenses. Thus the indicator of operational expenses integrally reflects growth of cost elimination as the hardware refusals connected with total loss of possibility carrying out measurements, and the metrological refusals arising at excess an error of measurements some critical level at which quality of measurements is considered unsatisfactory.

The model and algorithm of individual and group forecasting a residual resource of the measuring complexes by criterion inadmissible increase of operational expenses is offered. A sign of approach a limit state for MC is achievement by an indicator "average specific operational expenses" of the set maximum permissible level.

The main result of forecasting by means of this algorithm is the assessment value of the lower confidential bound the MC gamma percent residual resource. Additional results – pointed and interval projections of change operational expenses, and also expected values of estimates probability an absenteeism of operational expenses for maximum permissible level. Unlike the existing methods of forecasting a residual resource of the machines and equipment based on the determined models of physical processes of wear (accumulation of fatigue damages, wear of mechanisms, etc.) the offered algorithm allows to reduce significantly the nomenclature and volume of calculations basic data, necessary for carrying out, taking into account specifics of application to destination the MC concrete type. Output results of algo-

rithm can be used for justification decisions on terms of modernization the mobile laboratories of measuring equipment which are in operation.

Keywords: measuring complexes; intensity of metrological refusals; methods of forecasting a residual resource of the machines by economic criterion; criterion of inadmissible increase of operational expenses; assessment of a gamma percent residual resource..

References

1. Lomakin M.I., Mironov A.N., Bekasov S.R. Cost analysis method for providing means of communication. *Transport business of Russia*. 2013. № 5. Pp. 242-248. (In Russian).
2. Mironov E.A., Guzenko V.L., Klyopov A.V., Shestopalova O.L. Obosnovanie predpochitel'nogo varianta postroeniya i funkcionirovaniya sistemy tekhnicheskoy ehkspluatatsii territorial'no-raspredelennoj informacionnoy sistemy po vektoru tekhniko-ehkonomicheskikh pokazatelej [Reasons for a preferred choice of creation and functioning of system of technical operation of a geographically distributed information system on a vector of technical and economic indices]. *Modern problems of science and education*. 2014. № 3. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13295> (date of access: 01.07.2016). (In Russian).
3. Logunov A.V. Metodika tekhniko-ehkonomicheskogo obosnovaniya variantov modernizatsii sostavnykh chastej nazemnykh kompleksov [Technique of the feasibility study on options of upgrade of components of terrestrial complexes]. *Modern problems of science and education* 2013. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9786> [date of access: 01.07.2016]. (In Russian).
4. Chetyrkin E.M. *Statisticheskie metody prognozirovaniya* [Statistical methods of forecasting]. Moscow: Statistika. 1977. 200 p. (In Russian).
5. Silin V.B. *Zakovryashin A.I. Avtomaticheskoe prognozirovanie sostoyaniya apparatury upravleniya i nablyudeniya* [Automatic forecasting of a condition the equipment of management and supervision]. Moscow: ENergiya, 1973. 336 p. (In Russian).
6. Bolotin V.V. *Prognozirovanie resursa mashin i konstrukcij* [Forecasting of a resource of machines and equipment]. Moscow: Mashinostroenie 1984. 312 p. (In Russian).
7. Abramov O.V. *Rosenbaum A.N. Prognozirovanie sostoyaniya tekhnicheskikh sistem* [Forecasting of a condition technical systems]. Moscow: Nauka. 1990. 126 p. (In Russian).
8. Bobrovnikov G.N. *Klebanov A.I. Prognozirovanie v upravlenii tekhnicheskim уровнем i kachestvom produkcii* [Forecasting in management of a technological level and quality of production]. Moscow: Izd. Standartov. 1984. 232 p. (In Russian).

Information about authors:

Mironov A.N., Ph.D., professor, Military Space Academy;
Novikov A.N., Ph.D., Candidate of Engineering Sciences, associate professor, Military Space Academy;
Malakhov A.V., postgraduate student, Military Space Academy.

For citation:

Mironov A.N., Novikov A.N., Malakhov A.V. Individual and group forecasting residual resource of measuring complexes by economic criterion. *H&ES Research*. 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 25–30. (In Russian).

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАЩИЩЁННОСТИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Гаврилов

Илья Вячеславович,

сотрудник Академии ФСО России,

г. Орел, Россия,

ilya_reugeon@mail.ru

Ключевые слова:

речевая информация; словесная разборчивость; каналы утечки информации; средства активной защиты; надёжность технических систем.

АННОТАЦИЯ

В современном мире невозможно переоценить значимость речевого обмена между людьми. Возрастающая ценность речевой информации приводит к необходимости её защиты. Потребность в защите большого объёма речевой информации в различных государственных и коммерческих организациях в условиях стремительного роста возможностей технических средств перехвата информации по различным техническим каналам утечки определяет применение комплекса средств защиты, обладающих различной структурной и функциональной надёжностью. Поэтому в качестве объекта исследования настоящей работы выбраны средства активной защиты речевой информации. Предметом исследования выступают процедуры контроля и проверки состояния системы активной защиты речевой информации. Целью исследования является повышение защищённости речевой информации от утечки по техническим каналам посредством обеспечения структурной надёжности системы активной защиты. Представлена целевая функция исследования в виде функциональной зависимости от различных показателей надёжности элементов, частотно-временных характеристик сред распространения сигналов, вектора отношений сигнал/шум. В связи с этим возникает задача исследования влияния надёжности элементов технических систем защиты на защищённость речевой информации, циркулирующей в таких системах.

В целях изучения характера влияния надёжности элементов системы активной защиты на обобщённый показатель надёжности всей системы с выходом на коэффициент защищённости в работе использованы подходы теории графов, теории информации, теории вероятностей и теории надёжности. Для решения задачи была определена структурно-функциональная модель системы защиты речевой информации. Отмечено влияние технического состояния средств защиты на защищённость речевой информации в случае необходимости использования средств защиты. Получен вариант для расчёта показателя защищённости системы защиты. Отражена связь показателей надёжности средств защиты с показателями защищённости системы. В материалах представлены механизмы подсчёта показателей надёжности при учёте состояния средств защиты, составляющих комплексную систему. Результаты исследования показали необходимость комплексного подхода к оценке защищённости речевой информации.

В результате исследования предложен подход к определению комплексного показателя защищённости системы обработки речевой информации с учётом показателей структурной и функциональной надёжности элементов системы.

В настоящее время речь является наиболее важным способом человеческого общения. Объёмы информационных потоков современного мира постоянно нарастают. Также растёт и ценность информации, что заставляет обладателей информации задумываться о её защищённости. Речь является основой при взаимодействии начальников и подчинённых любого уровня.

В соответствии с ГОСТ 51275-2006 к факторам, воздействующим на безопасность защищаемой информации в частности относятся:

- передача сигналов по проводным, оптоволоконным линиям, в оптическом и диапазоне радиоволн;
- излучения акустических и электромагнитных сигналов;
- побочные электромагнитные излучения;
- различные паразитные электромагнитные излучения;
- наводки в различных цепях и линиях связи;
- акустоэлектрические преобразования;
- дефекты, отказы оборудования.

В основу средств для ведения акустической разведки входят микрофоны различных типов, к которым предъявляются требования по компактности, отношению сигнал/шум, динамическому диапазону и др. По графикам, изображённым на рисунках 1-3 можно проследить развитие технологии производства микрофонов: уменьшение уровня собственных шумов, геометрического размера [1].



Рис.1. Динамика уровня собственных шумов микрофонов по годам выпуска

В последнее время при использовании MEMS-технологии (технология производства микроэлектромеханических систем), позволяющей производить миниатюрные микрофонные компоненты, произошёл качественный скачок развития портативных средств ведения акустической (речевой) разведки. Так микроэлектронные микрофоны по сравнению с электретными обладают лучшими характеристиками сигнал/шум (рис. 2), что даёт большое разнообразие для действий злоумышленника.

Благодаря компактным размерам и высокой чувствительности MEMS-микрофоны применяются в изготовлении миниатюрных устройств добывания речевой информации. Данные устройства могут быть незаметно установлены в различные места помещений, в которых обрабатывается речевая информация.

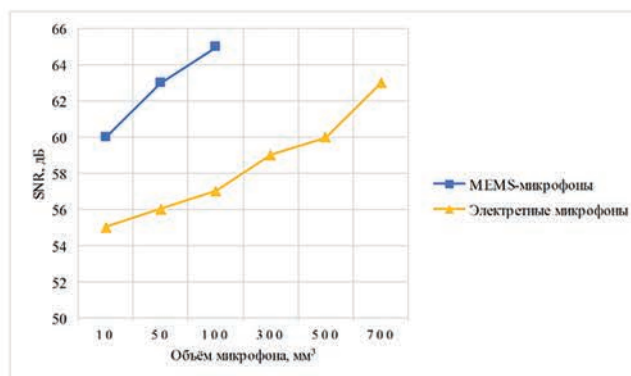


Рис.2. График зависимости отношения сигнал/шум от объёма микрофонов для MEMS и электретных микрофонов

Динамику увеличения количества произведённых и реализованных MEMS-микрофонов можно увидеть на рис. 3 [2].

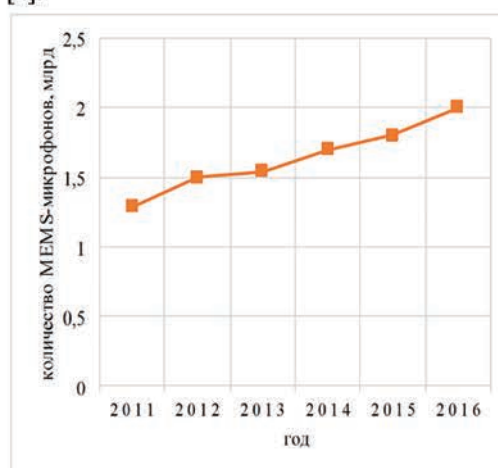


Рис.3. Количество произведённых MEMS-микрофонов по годам производства

Уменьшение размеров микрофонных модулей позволяет производить профессиональные цифровые диктофоны миниатюрных размеров с низким энергопотреблением. Поэтому возможности потенциального противника по перехвату информации на современном этапе развития не ограничиваются разрозненным слежением за отдельными каналами утечки информации. Съём информативных сигналов осуществляется интегрировано по нескольким путям прохождения речевого сигнала одновременно, после чего производится шумоочистка полученных данных с использованием современных аппаратных и программных методов, а также объединение полученных данных с целью повышения потенциальной речевой разборчивости.

В связи с изложенным выше необходимо отметить, что технические мероприятия по противодействию утечке речевой информации и проблемы при их проведении заслуживают более детального рассмотрения, возникает необходимость комплексного подхода к построению системы активной защиты речевой информации.

В рамках исследования разработана структурно-функциональная модель системы защиты речевой информации [3], которая включает источник речевой информации (ИРИ), основные и вспомогательные технические средства обработки информации, возможные технические каналы утечки речевой информации (ТКУРИ) [3, 4] со средствами активной защиты (САЗ) [4], среда распространения и злоумышленник с комплексом технических средств разведки. Функциональная зависимость сигналов, проходящих по различным каналам к злоумышленнику показана формулами 1–5.

$$A(t) = F_a[A_{oc}(t), A_{uu}(t), n_a(t)] \quad (1)$$

$$V(t) = F_v[V_{oc}(t), V_{uu}(t), n_v(t)] \quad (2)$$

$$P(t) = F_p[P_{oc}(t), P_{uu}(t), n_p(t)] \quad (3)$$

$$U(t) = F_u[U_{oc}(t), U_{uu}(t), n_u(t)] \quad (4)$$

$$O(t) = F_o[O_{oc}(t), O_s(t), n_o(t)] \quad (5)$$

Здесь условно обозначены функционалы от временной функции опасного сигнала, шума САЗ, естественных помех по акустическому (1), виброакустическому (2), визуально-оптическому (5) каналам, в радиоэфире (3) и в токопроводящих конструкциях (4).

При рассмотрении представленной структурно-функциональной модели необходимо отметить, что функционирующие в системе защиты САЗ участвуют в формировании сигнала, поступающего к злоумышленнику. Указанный сигнал может содержать «следы» информативного сигнала. Поэтому необходимо заметить, что корректная работа САЗ непосредственно влияет на защищённость речевой информации, которая таким образом будет определяться надёжностью САЗ. Данные факты можно продемонстрировать с помощью следующих схематичных графиков.

В настоящий момент существует устаревший подход к определению показателей надёжности САЗ (например, вероятности безотказной работы). Считается, что на протяжении всего периода эксплуатации САЗ данные показатели неизменны (рис. 4).

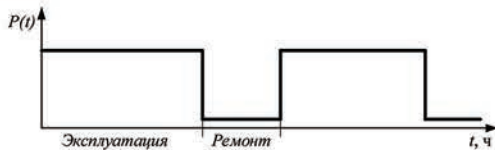


Рис.4. Подход к определению надёжности САЗ на стадиях жизненного цикла в настоящее время

В реальности же в процессе эксплуатации вероятность отказов возрастает, а вероятность безотказной работы снижается по некоторому закону, например, экспоненциально (рис. 5).

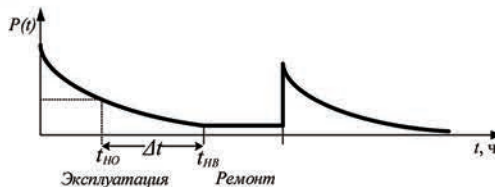


Рис.5. Подход к определению надёжности САЗ на стадиях жизненного цикла в настоящее время

Это приводит к возрастанию интенсивности отказов, что с момента времени t начала отказа (на графике t начала отказа до этапа восстановления работоспособности) может характеризоваться утечкой речевой информации.

Поэтому актуальность проводимого исследования определяется необходимостью разрешения противоречия между существующим предположением о постоянном уровне надёжности системы активной защиты на периоде эксплуатации и реальном факте снижения показателей надёжности САЗ в процессе эксплуатации.

В данном исследовании выдвинута гипотеза о повышении защищённости речевой информации при поддержании структурной надёжности системы активной защиты. Под структурной надёжностью системы защиты будем понимать свойство системы активной защиты речевой информации, состоящее в её способности выполнять функции по защите речевой информации, сохраняя при этом основные характеристики вырабатываемых шумовых помех в пределах, необходимых для обеспечения снижения общего по всем техническим каналам уровня словесной разборчивости до значения, не позволяющего восстановить исходную информацию.

Целевая функция исследования в виде функционала представлена формулой 6.

$$\begin{cases} P_{зпу} = F(W_{опи}, \Delta F_i, \frac{P_{ci}}{P_{ui}}, \Lambda_i(T^\circ, p, \gamma), \\ t_{нвi}, G, C) \xrightarrow{G} \max \\ W_{опи} \leq W_{пред} \\ C \leq C_{доп} \end{cases}, \quad (6)$$

где $P_{зпу}$ – вероятность защиты речевой информации;

$W_{опи}$ – общая словесная разборчивость речевых сообщений у злоумышленника;

ΔF_i – полоса частот i -го маршрута прохождения сигнала от ИРИ к злоумышленнику;

$\frac{P_{ci}}{P_{ui}}$ – отношение сигнал/шум для i -го маршрута;

$\Lambda_i(T^\circ, p, \gamma)$ – i -й показатель надёжности, зависящий от факторов окружающей среды;

$t_{нвi}$ – время начала восстановительных мероприятий для i -го маршрута;

G – матрица структуры графа системы активной защиты речевой информации;

C – затраты на внедрение и эксплуатацию средств защиты;

$W_{пред}$ – значение предельно допустимой словесной разборчивости перехватываемого по каналам утечки информации речевого сообщения;

$C_{доп}$ – допустимые затраты на внедрение и эксплуатацию средств защиты.

Приняв во внимание факт использования злоумышленником для получения речевой информации цифровых

устройств и методов восстановления цифровой информации, можно заключить, что параметры возникающих каналов утечки информации хорошо описываются с помощью предела пропускной способности Шеннона [5] для i -го непрерывного канала утечки информации [4] с помощью формулы 7.

$$C'_i = \Delta F_i \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_{ci}}{P_{ui}} \right) \quad (7)$$

Защищённость речевой информации определяется значением словесной разборчивости, которую, исходя из преобразования речевой информации в цифровую форму можно выразить формулой 8:

$$W_{ори} = \frac{\sum I_{zi}}{I_{ири}}, \quad (8)$$

где $I_{zi} = C'_i \cdot \Delta t_i$ – количество информации, полученной злоумышленником по i -му маршруту;

$\Delta t_i = t_{ни} - t_{но}$ – время, в течение которого функционирует i -ый комплект неработоспособных САЗ с вероятностью безотказной работы ниже определённого порогового уровня (рисунок 2);

$t_{ни}$ – время начала восстановления САЗ;

$t_{но}$ – время начала отказа САЗ;

$I_{ири}$ – количество информации, порождаемое ИРИ за время Δt .

Полагая в качестве примера, что величина $P(t)$ распределена по экспоненциальному закону [6], можно выразить t_{HOi} через интенсивность отказов λ , получив формулу 9 для общей словесной разборчивости:

$$W_{ори} = \left[\sum_i \left[\frac{\Delta F_i \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_{ci}}{P_{ui}} \right) \times \left(t_{НВi} + \ln P_{нор} / \sum_{j=1}^N \left(\lambda_j \cdot \alpha_{jm} \cdot \alpha_{ji} \times \left(\alpha_{jв} \cdot \alpha_{jd} \cdot K_{jn} \right) \right) \right) \right] \right] / I_{ири} \quad (9)$$

где λ_j – интенсивность отказа элемента САЗ в нормальных условиях эксплуатации;

α_{jm} – коэффициент, учитывающий влияние на надёжность элемента САЗ механических воздействий;

$\alpha_{jв}$ – коэффициент, учитывающий влияние на надёжность элемента САЗ влажности

α_{jd} – коэффициент, учитывающий влияние на надёжность элемента САЗ давления

K_{jn} – коэффициент электрической нагрузки, учитывающий особенности функционирования принципиальной схемы с выбранными элементами

Исходя из цели исследования, необходимо повысить защищённость речевой информации от утечки по техническим каналам посредством обеспечения структурной надёжности системы активной защиты. Структура системы активной защиты задаётся матрицей G , в которой

определяется расположение элементов системы, а также их показатели надёжности. Вероятность защиты речевой информации рассчитывается, исходя из формул 2 и 3. Где вероятность утечки характеризуется вероятностью наступления события, при котором общая словесная разборчивость на стороне злоумышленника будет выше предельно допустимой по нормативным документам.

В настоящей работе предложено использовать подходы теории графов [7] для моделирования системы активной защиты речевой информации. На рис. 6–9 показан переход от графа возможных путей утечки речевого сигнала к графу структурной надёжности системы активной защиты.

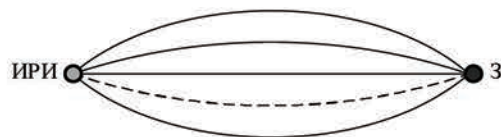


Рис.6. Граф возможных путей утечки речевого сигнала

На рис. 7 показан детализированный граф возможных путей утечки речевого сигнала к злоумышленнику с источником речевого сигнала и приёмником (злоумышленником). Остальные вершины графа отображают различные устройства преобразования сигналов между средами и ретрансляторы. Дуги графа показывают среды распространения сигналов.

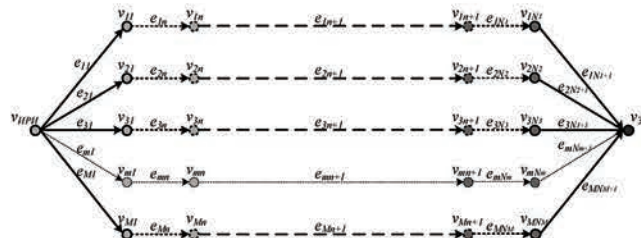


Рис.7. Детализированный граф возможных путей утечки речевого сигнала

Для каждой среды распространения речевых сигналов необходимо обеспечение шумовой маскировки САЗ, что показано на рис. 8.

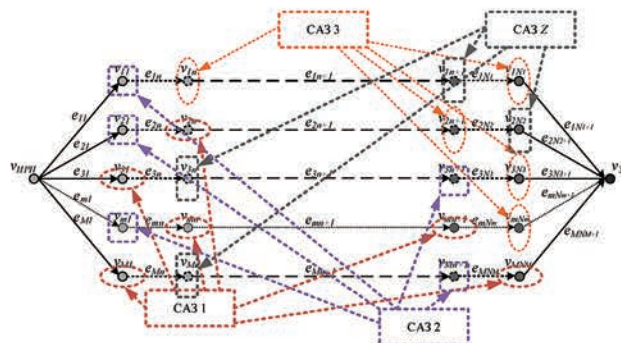


Рис.8. Детализированный граф возможных путей утечки

речевого сигнала при активном шумовом воздействии
 На рис. 9 демонстрируется граф структурной надёжности САЗ, на котором представлена связная структура системы защиты на основе включения отдельных элементов.

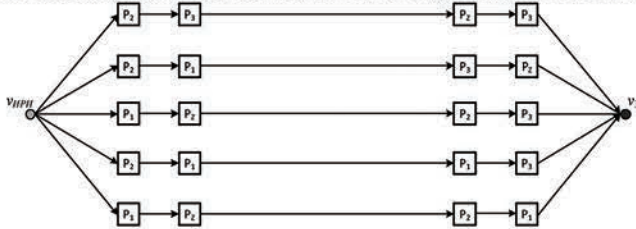


Рис.9. Граф структурной надёжности системы активной защиты

На данных рисунках применяются следующие обозначения:

$G=(V, E)$ – ориентированный граф ТКУРИ;
 $V=\{v_{ИРИ}, v_З, v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1N-1}, v_{21}, v_{22}, \dots, v_{1N-2}, \dots, v_{M1}, v_{M2}, \dots, v_{MN-M}\}$ – множество вершин (преобразователи сигналов между средами и ретрансляторы);
 $v_{ИРИ}$ – источник речевой информации;
 $v_З$ – злоумышленник;
 $E=\{e_{11}, e_{12}, \dots, e_{1N-1+1}, e_{21}, e_{22}, \dots, e_{2N-2+1}, \dots, e_{M1}, e_{M2}, \dots, e_{MN-M+1}\}$ – множество дуг (среды распространения сигналов).

Математическое выражение для расчёта показателей структурной надёжности системы активной защиты представлено формулой 10.

$$W(G) = 1 - \prod_{m \in M} [1 - W_m(n_m, M_m)] = 1 - \prod_{m \in M} \left[1 - \prod_{v_m \in V_{MN_m}} W_m(v_m) \cdot W_{mn}(e_{mn}) \right] \quad (10)$$

В результате исследования получены следующие графики зависимости вероятности защиты информации от времени эксплуатации (рис. 10):

В случае учёта комплексного характера утечки речевой информации наблюдается повышение словесной разборчивости, а значит снижение защищённости речевой информации.

Исследования показывают необходимость комплексной оценки защищённости речевой информации.

Выводы

1. Установлена тенденция к постоянному улучшению характеристик и увеличению объёма производимых средств и систем ведения акустических разведок.

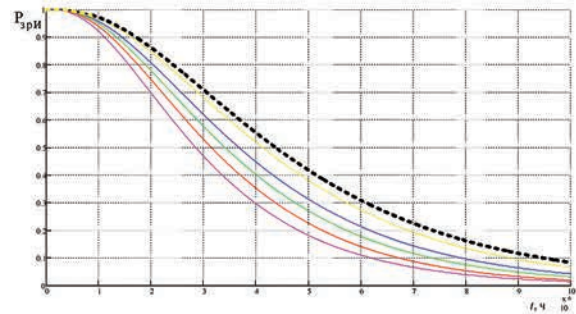


Рис.10. Семейство графиков зависимостей вероятности защиты речевой информации от времени работы комплекса САЗ при различном количестве равнонадёжных САЗ

2. Отмечен комплексный подход, проводимый в настоящее время злоумышленниками с целью перехвата и обработки речевой информации.

3. Разработана структурно-функциональная модель системы защиты речевой информации для изучения влияния показателей надёжности на уровень защищённости речевого сигнала.

4. Предложен комплексный подход на основе теории графов при построении системы активной защиты речевой информации.

5. Получено и проанализировано выражение для структурной надёжности системы активной защиты речевой информации и получены графики зависимости вероятности защиты речевой информации от периода эксплуатации системы.

Литература

1. Льюис Д., Шрэйер П. Новые МЭМС-Микрофоны Analog Devices – рекордно низкий собственный шум // Электроника: наука, технология, бизнес. 2013. № 1. С. 210–211.
2. Макаренко В. MEMS-микрофоны компании Analog Devices // Электронные компоненты и системы. 2012. № 6. С. 35–40.
3. Гаврилов И.В. Гребенев Д.В. Построение вероятностной модели комплексной системы защиты речевой информации для контроля ее защищенности // Вопросы защиты информации. 2015. № 3. С. 79–84.
4. Халяпин Д.Б. Защита информации. Вас подслушивают? Защищайтесь! М.: НОУ ШО «Баярд», 2004. 432 с.
5. Прокис Д. Цифровая связь. пер.с англ. / под ред. Д.Д. Кловского. М.: Радио и связь, 2000. 800 с.
6. Байхельт Ф., Франкен П. Надёжность и техническое обслуживание. Математический подход: пер. с нем. М.: Радио и связь, 1988. 392 с.
7. Курносое В.И., Лихачёв А.М. Методология проектных исследований и управление качеством сложных технических систем электросвязи. СПб.: ТИРЕКС, 1998. 496 с.

Для цитирования:

Гаврилов И.В. Особенности определения показателей защищённости системы защиты речевой информации // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 4. С. 31–36.

FEATURES DEFINITIONS OF INDICATORS PROTECTED SPEECH INFORMATION SECURITY

Gavrilov Ilya Vyacheslavovich,
Orel, Russia, ilya_vch@pisem.net

Abstract

In the modern world, it is impossible to overestimate the importance of verbal communication between people. Increasing the value of the speech information leads to the necessity of its protection. The need to protect the large volume of voice information in a variety of government and commercial organizations in the face of rapid growth interception on various technical channels of information leakage hardware capability determines the use of complex remedies having different structural and functional reliability. Therefore, as the object of study of this work chosen means of active protection of speech information. The subject of research are the control procedures, and check the status of active protection of voice information system. The aim of the study is to improve the security of voice data leakage through technical channels by providing the structural reliability of the active protection system. Submitted by the objective function of research in the form of the functional dependence of the various elements of the reliability indicators, time-frequency characteristics of signal propagation environments, vector signal / noise ratio. In this regard, there is a problem of reliability study of the effect elements of technical protection systems on a secure voice information circulating in such systems.

In order to explore the nature of the influence of reliability elements active protection system on a generic indicator of the reliability of the entire system with access to the vulnerability factor in the approaches used graph theory, information theory, probability theory and reliability theory. Structural-functional model of voice information protection system was determined to solve the problem. The influence of the technical state of the remedies on voice data defended in case of need for protection. Get ideas for calculating the index vulnerability of the protection system. Reflected connection reliability performance protection with performance security of the system. The materials presented mechanisms

of calculation of indicators of reliability by taking into account the state of the remedies that make up the complete system. Results of the study showed the need for a comprehensive approach to assessing the security of voice data. The study suggests an approach to the definition of the complex index of the vulnerability of the system of speech information processing, taking into account indicators of the structural and functional elements of the system reliability.

Keywords: voice information, speech recognition, information leakage, the active means of protection, reliability of technical systems.

References

1. L'yuis D., Shreier P. New MEMS microphones Analog Devices - a record low intrinsic noise. *Elektronika: nauka, tehnologiya, biznes.* № 1. 2013. Pp. 210–211. (In Russian).
2. Makarenko V. MEMS-microphones Analog Devitses company. *Elektronnye komponenty I sistemy.* No. 6. 2012. Pp. 35–40. (In Russian).
3. Gavrilov I.V., Grebenev D.V. Construction of a probabilistic model of the complex system of protection of the speech information to control its security. *Voprosy zaschity informacii.* Moscow, 2015. No. 3. Pp. 79–84. (In Russian).
4. Halyapin D.B. *Zaschita informacii. Vas podslushivayut? Zashchaites! [Data protection. You overhear? Defend yourself!].* Moscow, NOU ShO «Bayard», 2004. 432 p. (In Russian).
5. Proakis J. *Digital communications.* New York, McGraw Hill, 1995. 928 p.
6. Beichelt F., Franken P. *Zuverlässigkeit und Instandhaltung. Mathematische Methoden.* Berlin: VEB Verlag Technik. 1983. 315 p.
7. Kurnosov V.I., Lihachev A.M. *Metodologiya proektnyh issledovaniy i upravlenie kachestvom slojnyh tehnikeskikh sistem elektrosvyazi [Methodology of design research and quality control of complex technical systems Telecommunication].* St. Petersburg, TIREKS, 1998. 496 p. (In Russian).

Information about authors:

Gavrilov I.V., assistant, Academy of Federal Agency of Protection of Russian Federation.

For citation:

Gavrilov I.V. Features definitions of indicators protected speech information security. *H&ES Research.* 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 31–36. (In Russian).

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕДАЧИ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО ТРАФИКА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В СЕТЯХ СВЯЗИ

Степанов

Сергей Николаевич,

д.т.н., профессор, профессор
кафедры сетей связи и систем
коммутации Московского
университета связи
и информатики (МТУСИ),
г. Москва, Россия,
stpnvsrg@gmail.com

Саламех

Немер,

аспирант кафедры сетей связи
и систем коммутации
Московского университета связи
и информатики (МТУСИ),
г. Москва, Россия,
tiger8386@mail.ru

Ключевые слова:

мультисервисные модели; конечное
число источников; внутренние блоки-
ровки; резервирование;
узкополосный и широкополосный
трафик; система уравнений
равновесия.

АННОТАЦИЯ

Разработана модель мультисервисной сети связи, состоящей из произвольного числа узлов и соединительных линий. Поступление заявок на передачу трафика сервисов реального времени следует либо пуассоновской модели (узкополосный трафик), либо модели Энгсета (широкополосный трафик). В построенной модели предполагается, что вероятность допуска заявки к обслуживанию зависит как от наличия требуемого количества свободных единиц канального ресурса, необходимого для обслуживания трафика ассоциированного с обслуживанием поступающей заявки, так и от степени загрузки ресурса передачи информации в используемом маршруте ее пересылки по сети. Разработанная модель может быть использована для оценки достаточности ресурса в звеньях сети связи при совместном обслуживании мультисервисного трафика коммуникационных приложений реального времени. В рамках построенной модели сформулированы определения основным характеристикам качества совместного обслуживания заявок через значения стационарных вероятностей состояний модели и проанализированы способы их оценки на основе решения системы уравнений статистического равновесия или использования процедуры просеивания потока поступающих заявок. Показано, что точный расчет значений характеристик возможен только в частных случаях разработанной модели, когда сеть состоит из одного или двух звеньев. Для оценки характеристик в общем случае разработана имитационная модель. С помощью результатов имитационного моделирования показано, что при совместном обслуживании узкополосного и широкополосного трафика коммуникационных приложений реального времени наблюдается неконтролируемое оператором перераспределение канального ресурса в пользу потоков заявок с малыми потребностями в скорости передачи информации. Для устранения отрицательных последствий этого явления предлагается применять либо резервирование, либо раздельное использование ресурса звеньев сети. Для обоснования процедуры выбора конкретного сценария можно использовать построенные в данной работе модели и алгоритмы.

1. Введение

Моделирование процессов поступления и обслуживания заявок должно учитывать основные особенности совместной передачи информационных потоков в действующих и перспективных сетях связи [1–6]. До недавних пор планирование ресурса передачи информации в сетях связи было основано на использовании разного рода эмпирических правил. Информационные потоки современных коммуникационных приложений существенно отличаются от речевого трафика, что затрудняет, а порою делает невозможным применение классических результатов теории телетрафика. Для устранения отмеченных трудностей требуется ввести в обиход инженеров, занимающихся решением задач проектирования сетей связи, новые модели, а на их основе разработать новые алгоритмы оценки показателей пропускной способности систем связи. Решению этой задачи, имеющей большое значение для практических приложений, посвящена эта работа.

2. Особенности моделирования входных потоков заявок

Исследование процесса использования ресурса передачи информации звеньев мультисервисной сети идет на уровне поступления заявок на передачу трафика сервисов реального времени. В большинстве теоретических работ, относящихся к анализу мультисервисных сетей, предполагается, что поступление заявок подобного рода подчиняется закону Пуассона. Данному утверждению имеется теоретическое обоснование. Из положений теории вероятностей известно [3,6], что при суммировании большого числа независимых потоков заявок с интенсивностями, стремящимися к нулю, результирующий поток по свойствам будет приближаться к пуассоновскому потоку, если число потоков стремится к бесконечности, а их суммарная интенсивность к константе, определяющей частоту поступления заявок пуассоновского потока.

В реальных системах связи может сложиться ситуация, когда предположение о пуассоновском характере поступления заявок могут не выполняться. Так происходит при наличии в сети пользователей инфокоммуникационных услуг, которые имеют существенные требования к ресурсу передачи информации [4–8]. Обычно это заказ сервисов, основанных на передаче видеотрафика. Поскольку абоненты требуют существенную долю канального ресурса линии, то изменение количества активных абонентов меняет интенсивность потока предложенного трафика. Для учета этого явления используются вероятностные модели формирования входного потока заявок, носящие название модель Энгсета. В моделях подобного рода абонент, формирующий k -ый поток заявок, может находиться в состоянии посылки вызова через экспоненциально распределенный промежуток времени или в состоянии ее обслуживания. В последнем случае заявки от абонента не поступают.

Помимо пользователей услуг связи, нуждающихся в существенной доле передаточных возможностей звеньев сети, в сети могут присутствовать абоненты, требующие

установления соединения для передачи обычного речевого трафика. Поскольку требования к ресурсу передачи невелики, то можно считать выполненными предположения о пуассоновском характере поступления заявок анализируемого потока. Таким образом, в сети рассматриваются процессы поступления и обслуживания n потоков заявок на установление соединения с целью передачи трафика сервисов реального времени. Из анализируемых n потоков n_1 формируются группами, состоящими из конечного числа пользователей, а n_2 — группами, состоящими из бесконечного числа пользователей (применение здесь и далее термина бесконечный означает, что число абонентов велико и существенно не сказывается на интенсивности поступающего потока заявок). Обозначим через ω_1 множество номеров потоков заявок, формируемых группами из конечного числа пользователей услуг связи, а через ω_2 обозначим множество номеров потоков заявок, формируемых группами из бесконечного числа пользователей. Обозначим через s_k число пользователей услуг связи, формирующих k -ую группу, $k \in \omega_1$. Абонент сети, входящий в состав k -ой группы, $k \in \omega_1$ посылает заявку на передачу ресурсоемкого трафика реального времени через случайный промежуток времени, имеющий экспоненциальное распределение с параметром равным β_k . Для передачи трафика требуется b_k канальных единиц во всех звеньях сети, составляющих маршрут движения трафика, ассоциированного с обслуживанием заявки анализируемого потока. Далее возможны два варианта развития событий. Если в используемом маршруте движения трафика имеется необходимое число свободных канальных единиц, то все они занимают на случайное время обслуживания заявки k -го потока, имеющее экспоненциальное распределение с параметром равным α_k . Если требуемого числа свободных канальных единиц не хватает, то абонент, входящий в состав k -ой группы пользователей услуг связи, получает отказ и через случайный промежуток времени, имеющий экспоненциальное распределение с параметром равным β_k , от него поступает следующая заявка и сформулированные выше действия, связанные с формированием k -го потока заявок, повторяются.

Заявки на предоставление ресурса передачи информации, сформированные бесконечной группой пользователей услуг связи и принадлежащие k -му потоку $k \in \omega_2$, поступают в соответствии с пуассоновским распределением и имеют интенсивность λ_k . Для обслуживания поступившей заявки требуется b_k канальных единиц во всех звеньях сети, составляющих маршрут движения трафика, ассоциированного с обслуживанием заявки анализируемого потока. Время обслуживания заявки k -го потока, имеет экспоненциальное распределение с параметром равным α_k . Если требуемого числа свободных канальных единиц не хватает, то поступившая заявка получает отказ и не возобновляется.

Для удобства последующих преобразований примем, что для всех потоков параметр экспоненциального времени обслуживания заявок равен единице. Таким образом, для

всех потоков интенсивность поступления заявок будет выражена в среднем числе заявок, поступающих за среднее время их обслуживания. По определению это означает, что величина интенсивности выражена в эрлангах, т.е. в среднем числе потенциальных соединений на предоставление заказанного сервиса. Обозначим соответствующую характеристику через a_k . Для пуассоновского потока $a_k = \lambda_k / \alpha_k$. Обозначим через γ_k параметр экспоненциального распределения длительности интервала времени между последовательными поступлениями заявок от одного абонента из k -ой группы, $k \in \omega_1$. Значения величин s_k, a_k, γ_k связаны между собой. Если известны значения a_k интенсивности предложенной нагрузки и s_k числа абонентов, формирующих k -ый поток, то можно найти величину γ_k . Для решения этой задачи используется соотношение [3] $\gamma_k = a_k / (s_k - a_k)$.

Для потока заявок, образованного конечной группой пользователей, интервал времени между последовательными поступлениями заявок в систему имеет экспоненциальное распределение с параметром $(s_k - i_k)\gamma_k$, где i_k – число заявок k -го потока, находящихся на обслуживании, $k \in \omega_1$.

3. Конечное число источников заявок: определение и оценка характеристик

Процедуру занятия ресурса передачи информации будем характеризовать долей потерянных заявок, долей времени занятости доступного ресурса и средним числом канальных единиц, занятых на обслуживании поступающих заявок. Все введенные характеристики можно определить, если известны значения доли времени пребывания модели в состоянии с фиксированным числом заявок каждого типа, находящихся на обслуживании. Функционирование модели во времени описывается многомерным марковским процессом $r(t) = (i_1(t), i_2(t), \dots, i_n(t))$, где $i_k(t)$ – число заявок k -го потока, находящихся в момент времени t на обслуживании, $k = 1, 2, \dots, n$. Обозначим через $p(i_1, i_2, \dots, i_n)$ стационарную вероятность нахождения на обслуживании i_k заявок k -го потока, $k = 1, 2, \dots, n$.

Предположим, что значения $p(i_1, i_2, \dots, i_n)$ известны. Обозначим через S множество всевозможных состояний сети, а через $B_k \in S$ обозначим множество состояний модели, в каждом из которых поступившая заявка k -го потока получает отказ из-за недостаточности канального ресурса хотя бы в одном из звеньев маршрута, используемого для передачи трафика сервиса реального времени, ассоциированного с обслуживанием заявки k -го потока. Обозначим долю потерянных заявок символом $\pi_{c,k}$, долю времени занятости доступного ресурса обозначим символом $\pi_{t,k}$, а среднее число канальных единиц, занятых на обслуживании поступающих заявок, обозначим символом m_k . В случае $k \in \omega_1$ введенные показатели определяются из следующих соотношений:

$$\pi_{t,k} = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in B_k} p(i_1, i_2, \dots, i_n);$$

$$m_k = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} p(i_1, i_2, \dots, i_n) i_k b_k; \quad (1)$$

$$\pi_{c,k} = \frac{\sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in B_k} p(i_1, i_2, \dots, i_n) (s_k - i_k) \gamma_k}{\sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} p(i_1, i_2, \dots, i_n) (s_k - i_k) \gamma_k}.$$

Предположим, что $k \in \omega_2$. Тогда $\pi_{t,k} = \pi_{c,k} = \pi_k$, а анализируемые показатели определяются из равенств:

$$\pi_k = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in B_k} p(i_1, i_2, \dots, i_n); \quad (2)$$

$$m_k = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} p(i_1, i_2, \dots, i_n) i_k b_k.$$

Если m_k известно, то нетрудно рассчитать величину u_k среднего числа заявок k -го потока, находящихся на обслуживании $u_k = m_k / b_k$.

Фундаментальной характеристикой модели является наличие свойства мультипликативности [1–3, 6] у значений стационарных вероятностей $P(i_1, i_2, \dots, i_n)$. Для удобства записи последующих формул будем предполагать, что потоки с номерами от 1 до n_1 поступают от конечных групп пользователей, а потоки с номерами от $n_1 + 1$ до n от бесконечных групп пользователей. Свойство мультипликативности позволяет записать следующие расчетные выражения для оценки значений $P(i_1, i_2, \dots, i_n)$:

$$P(i_1, i_2, \dots, i_n) = \frac{1}{N} \frac{\prod_{j=0}^{i_1-1} (s_1 - j) \gamma_1}{i_1!} \dots \frac{\prod_{j=0}^{i_{n_1}-1} (s_{n_1} - j) \gamma_{n_1}}{i_{n_1}!} \times \frac{a_{n_1+1}^{i_{n_1+1}} a_{n_1+2}^{i_{n_1+2}}}{i_{n_1+1}! i_{n_1+2}!} \dots \frac{a_n^{i_n}}{i_n!}, \quad (i_1, i_2, \dots, i_n) \in S, \quad (3)$$

где

$$N = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} \frac{\prod_{j=0}^{i_1-1} (s_1 - j) \gamma_1}{i_1!} \dots \frac{\prod_{j=0}^{i_{n_1}-1} (s_{n_1} - j) \gamma_{n_1}}{i_{n_1}!} \times \frac{a_{n_1+1}^{i_{n_1+1}} a_{n_1+2}^{i_{n_1+2}}}{i_{n_1+1}! i_{n_1+2}!} \dots \frac{a_n^{i_n}}{i_n!}.$$

Для сравнительно небольших по структуре моделей мультисервисных сетей приведенное мультипликативное соотношение позволяет рассчитать значения стационарных вероятностей через значения входных параметров поступающих потоков заявок. Для более сложных случаев можно построить рекурсивные алгоритмы точной оценки значений характеристик, основанные на интеграции микросостояний числа заявок, находящихся на обслуживании, в макросостояния общего числа занятых канальных единиц. Примером подобного решения является рекурсивный алгоритм расчета звена мультисервисной сети при расчете трафика типа BPP [1–3]. В общем случае для оценки введенных характеристик $\pi_{t,k}, \pi_{c,k}$ и m_k , $k = 1, 2, \dots, n_1$ и π_k

и m_k , $k = n_1 + 1, n_1 + 2, n$ используются средства имитационного моделирования. Для решения инженерных задач, связанных с оценкой необходимого ресурса передачи информации звеньев мультисервисных сетей связи также используются приближенные алгоритмы, основанные на реализации метода просеивания трафика [1–3].

4. Наличие внутренних блокировок: определение и оценка характеристик

Одним из самых простейших способов контроля за распределением ресурса передачи информации является резервирование. С общих позиций действие процедуры резервирования удобно формализовать с использованием понятия функции внутренней блокировки [1,3]. Рассмотрим исследуемую модель мультисервисной сети передачи трафика реального времени, и внесем в нее изменения, относящиеся к использованию функции внутренней блокировки $\varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n)$, определяющей вероятность допуска заявок k -го потока к каналному ресурсу звеньев сети, используемых для установления соединения для передачи трафика реального времени, ассоциированного с обслуживанием заявки k -го потока. Функция $\varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n)$ зависит от компонент состояния (i_1, i_2, \dots, i_n) . Если в рассматриваемом состоянии (i_1, i_2, \dots, i_n) , хотя бы в одном из звеньев, составляющих маршрут следования трафика, относящегося к обслуживанию заявки k -го потока, нет b_k свободных единиц каналного ресурса, то поступившая заявка получает отказ с вероятностью, равной единице. Таким образом, для анализируемого состояния $\varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n) = 1$. Если во всех звеньях используемого маршрута имеется достаточное число канальных единиц, то заявка k -го потока принимается к обслуживанию с вероятностью $1 - \varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n)$, а с дополнительной вероятностью $\varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n)$ получает отказ. В анализируемой постановке задачи функция $\varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n)$ реализует процедуру фильтрации входного потока заявок в соответствии с технической политикой администрации сети. Длительность промежутка времени обслуживания заявки имеет экспоненциальное распределение с параметром α_k .

Подбирая значение функции внутренней блокировки, можно анализировать различные формы резервирования канального ресурса. Напомним характеристики модели сети. Её топология определяется маршрутной матрицей $R = \|r_{j,k}\|$ прямоугольного вида размера $J \times n$, где J - число соединительных линий (звеньев) сети, а n - число потоков трафика. Значение $r_{j,k}$ равно b_k , если заявка k -го потока использует для своего обслуживания j -ое звено сети, и равно нулю в противоположном случае. Анализ матрицы дает возможность определить множества N_j номеров потоков заявок, использующих j -ую линию, $j = 1, 2, \dots, J$, и множества R_k номеров звеньев сети, составляющих маршрут движения трафика, относящегося к обслуживанию k -ой заявки, $k = 1, 2, \dots, n$.

Обозначим через θ_k уровень резервирования канального ресурса при обслуживании заявок k -го потока. Дан-

ная схема резервирования означает следующее. Поступившая заявка k -го потока принимается на обслуживание, если в каждом из звеньев, составляющих маршрут движения трафика, ассоциированного с обслуживанием рассматриваемой заявки, имеется θ_k или менее занятых канальных единиц ресурса. Формально применение данной схемы резервирования означает следующий выбор величины функции внутренней блокировки: $\varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n) = 0$, если выполняются соотношения $\forall j \in R_k, \sum_{k \in N_j} b_k i_k \leq \theta_k$. Если же существует хотя бы одно $j \in R_k$, для которого $\sum_{k \in N_j} b_k i_k > \theta_k$, то $\varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n) = 1$, т.е. поступившая заявка k -го потока получает отказ. Схема резервирования канального ресурса для заявок k -го потока показана на рис. 1.

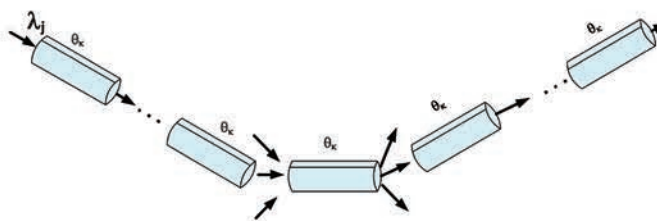


Рис. 1. Схема резервирования канального ресурса для заявок k -го потока

Ограничивая доступ к ресурсу передачи информации выбором значения θ_k , администрация сети не позволяет отдельным потокам заявок получить преимущество в его использовании, не предусмотренное принятым соглашением об обслуживании. Далее будем предполагать, что резервирование относится к заявкам, поступающим по пуассоновскому закону, т.е. требующим узкополосного соединения, поскольку именно они ограничивают доступ к ресурсу для заявок, требующих широкополосного соединения. Характеристики качества обслуживания подобных заявок определяются из соотношений:

$$\pi_k = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} P(i_1, i_2, \dots, i_n) \varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n), \tag{4}$$

$$m_k = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} P(i_1, i_2, \dots, i_n) i_k b_k.$$

Расчёт введённых характеристик может быть выполнен с помощью численных методов после составления и решения системы уравнений статистического равновесия. Реализация стандартных численных алгоритмов решения подобных систем ограничена значениями структурных параметров модели и их можно применять в основном для однозвенных сетей [1–3,6]. Для вычисления значений характеристик систем связи, состоящих из нескольких звеньев,

можно использовать имитационное моделирование и приближённые методы, основанные на реализации метода простейшего графика [1–3,6].

5. Численные примеры

Вспользуемся построенной моделью для анализа зависимости характеристик от степени неоднородности поступающих заявок в требованиях к ресурсу передачи информации. Такая ситуация, например, может возникнуть, когда происходит совместное обслуживание заявок на передачу речевого трафика и трафика связанного с пересылкой разного рода видеосообщений. Для оценки характеристик качества совместного обслуживания заявок будет использоваться имитационное моделирование. Относительная погрешность оценки значений характеристик составила в большинстве случаев 5-10 процентов.

В качестве примера была использована сеть из 7 узлов и 6 соединительных линий, показанная на рис. 2. По сети ведётся пересылка информации для 9 потоков заявок на передачу трафика сервисов реального времени. Маршруты следования потоков определяются следующим перечнем узлов: 1-ый — {1,3,2}, 2-ой — {1,3,4}, 3-ий — {1,3,4,5}, 4-ый — {3,4,6}, 5-ый — {2,3,4,6}, 6-ой — {2,3,4,7}, 7-ой — {5,4,6}, 8-ой — {5,4,7}, 9-ый — {3,4}. Отметим последовательность занимаемых звеньев сети каждым потоком заявок: 1-ый — {1,2}, 2-ой — {1,3}, 3-ий — {1,3,4}, 4-ый — {3,5}, 5-ый — {2,3,5}, 6-ой — {2,3,6}, 7-ой — {4,5}, 8-ой — {4,6}, 9-ый — {3}.

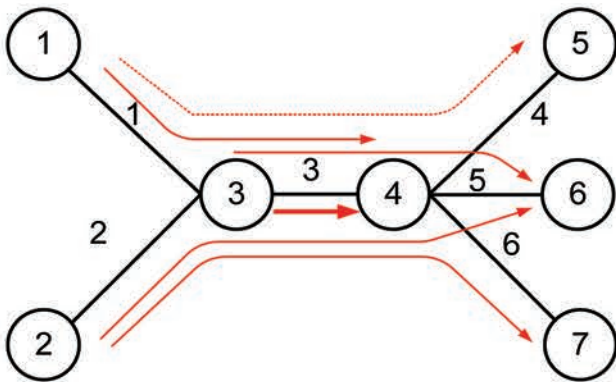


Рис. 2. Пример топологии сети из 7 узлов и 6 соединительных линий. Отмечены потоки трафика, связанные с обслуживанием заявок, использующих в качестве промежуточной соединительной линии 3-е звено сети

На рис. отмечены все потоки трафика, использующих в качестве промежуточной соединительной линии третье звено сети. Для простоты будем предполагать, что для обслуживания заявок всех потоков кроме девятого необходимо использование одной единицы канального ресурса (узкополосный трафик, например, относящийся к передаче речевых сообщений), а для обслуживания заявки девятого потока необходимо использование 30 единиц канального ресурса (широкополосной трафик, например, относящийся к передаче видеосообщений).

Для того, чтобы заявка определенного, например, k -го, потока была принята к обслуживанию, необходимо, чтобы на всех линиях, составляющих маршрут следования информации данного потока было свободно не менее b_k единиц канального ресурса. Маршрутная матрица R , соответствующая выбранной топологии сети и маршрутам следования информационных потоков, имеет вид

$$R = \begin{pmatrix} b_1 & b_2 & b_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_1 & 0 & 0 & 0 & b_5 & b_6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 & 0 & 0 & b_9 \\ 0 & 0 & b_3 & 0 & 0 & 0 & b_7 & b_8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_4 & b_5 & 0 & b_7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_6 & 0 & b_8 & 0 \end{pmatrix}.$$

Напомним, что в приведенной матрице величины $b_k = 1$ к.е. для всех $k = 1, 2, \dots, 8$ и $b_k = 30$ к.е. для $k = 9$. В ситуации, когда $b_k = 1$, предполагается, что потоки заявок на установление голосового соединения образованы большими (стремящимися к бесконечности группами абонентов), а поток заявок на установление видеосоединения образован конечной группой абонентов, которую будем считать состоящей из $s_9 = 30$ пользователей. Будем предполагать, что для всех потоков заявок длительность интервала времени обслуживания имеет экспоненциальное распределение с параметром равным единице. Отсюда следует, что среднее время обслуживания заявки принято за единицу. В этой ситуации интенсивности поступления заявок выражены в эрлангах, т.е. в среднем числе потенциальных соединений. Обозначим соответствующие интенсивности символом a_k , $k = 1, 2, \dots, 9$. Для модели с конечным числом пользователей длительность интервала времени между поступлением заявок от одного абонента имеет экспоненциальное распределение с параметром γ_9 , определяемым из соотношения $a_9 = s_9 \cdot \gamma_9 / (1 + \gamma_9)$. Отсюда следует, что величина γ_9 находится из формулы: $\gamma_9 = a_9 / (s_9 - a_9)$.

При проведении численного исследования будем считать переменными значения интенсивностей a_3 и a_9 , остальные значения $a_k = 5$ Эрл, $k = 1, 2, \dots, n$, $k \neq 3$ и $k \neq 9$. Маршрут следования узкополосного трафика, связанного с обслуживанием заявок третьего потока, обозначен на рисунке пунктиром, а маршрут следования широкополосного трафика, связанного с обслуживанием заявок девятого потока, обозначен на рисунке жирной линией. Значения a_3 и a_9 меняются от ситуаций создания малой, средней и большой загрузки 3-го звена сети. Приведем выражения для оценки d_k интенсивности предложенного трафика, проходящего через k -ое звено сети в соответствии с выбранной структурой маршрутной матрицы. Получаем такие формулы: $d_1 = a_1 + a_2 + a_3$; $d_2 = a_1 + a_5 + a_6$; $d_3 = a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_9$; $d_4 = a_3 + a_7 + a_8$; $d_5 = a_4 + a_5 + a_7$; $d_6 = a_6 + a_8$.

Подставив фиксированные значения интенсивностей, получаем такие результаты: $d_1 = (10 + a_3)$ Эрл; $d_2 = 15$ Эрл; $d_3 = (20 + a_3 + a_9)$ Эрл; $d_4 = (a_3 + 10)$ Эрл; $d_5 = 15$ Эрл; $d_6 = 10$ Эрл.

Число канальных единиц в звеньях сети выберем в соответствии с заданными значениями интенсивностей. Искомые параметры определяются из соотношений: $v_1 = 130$ к.е., $v_2 = 23$ к.е., $v_3 = 130$ к.е., $v_4 = 130$ к.е., $v_5 = 23$ к.е., $v_6 = 18$ к.е.. На рис. 3 для модели сети, ранее показанной на рис. 2, приведены зависимости доли потерянных заявок для третьего и девятого потоков от изменения a_3 и $a_9 b_9$ от 0 до 120 ЭрлК. Значения потерь подсчитаны для 12 точек в соответствии с выражениями: $a_3[i] = 10 \times i$; $a_9[i] = a_3[i]/b_9$, $i = 1, 2, \dots, 12$. По оси абсцисс отложено значение $\rho = (a_2 + a_3[i] + a_4 + a_5 + a_6 + a_9[i]b_9)/v_3$.

Оно показывает величину потенциальной загрузки единицы канального ресурса третьего звена анализируемой модели сети, выраженную в эрланго-каналах [1,3]. Цифрой 1 обозначена диаграмма для третьего потока (узкополосный трафик), а цифрой 2 — для девятого потока (широкополосный трафик). Из приведенных результатов следует, что несмотря на существенный рост потенциальной загрузки линии (отметим, что потенциальные величины узкополосного и широкополосного трафика, выраженные в эрланго-каналах, совпадают во всем диапазоне изменения поступающей нагрузки) для узкополосного трафика доля потерянных заявок увеличивается не столь быстро, как для широкополосного трафика. Данный факт объясняется следующим образом. Узкополосные заявки, занимая ресурс третьей линии, существенно сокращают доступ к обслуживанию широкополосных заявок, поскольку им для этого требуется одновременно резервировать существенный объем канального ресурса звена.

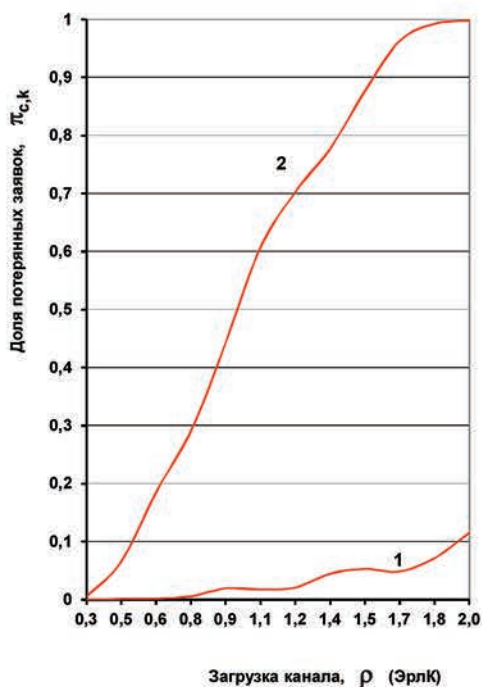


Рис. 3. Зависимость потерь заявок третьего и девятого потоков от увеличения интенсивности поступления заявок в каждом из потоков

Таким образом, несмотря на одинаковую потенциальную загрузку линии узкополосные заявки получают дополнительные возможности для использования канального ресурса сети, которые могли быть и не предусмотрены в принятом соглашении об обслуживании. Такое положение дел может привести к тому, что узкополосные заявки могут практически полностью сократить возможности попасть на обслуживание для широкополосных заявок.

Для иллюстрации этого положения на рис. 4 показана зависимость среднего числа канальных единиц занятых на обслуживание узкополосного (кривая 1) и широкополосного (кривая 2) трафика. Отметим, что на начальной стадии роста поступающей нагрузки оба потока занимают одинаковое среднее число канальных единиц.

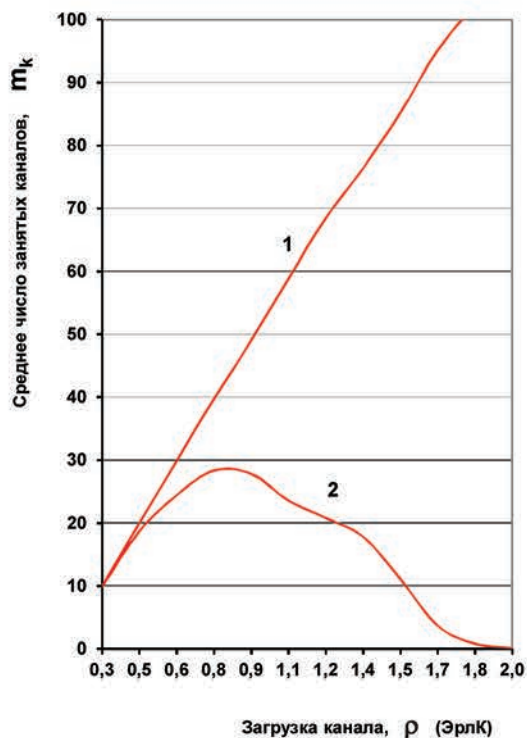


Рис. 4. Зависимость среднего числа канальных единиц занятых на обслуживание узкополосного (кривая 1) и широкополосного (кривая 2) трафика от увеличения интенсивности поступления заявок в каждом из потоков

6. Заключение

Построена и исследована обобщенная модель мультисервисной сети, состоящая из произвольного числа узлов и соединительных линий. Поступление заявок на передачу трафика сервисов реального времени следует либо пуассоновской модели (узкополосный трафик), либо модели Энгсета (широкополосный трафик). С помощью результатов имитационного моделирования мультисервисных сетей общего вида показано, что при совместном использовании канального ресурса на обслуживание узкополосного и широ-

кополосного трафика наблюдается неконтролируемое оператором перераспределение канального ресурса в пользу потоков заявок с малыми потребностями в ресурсе передачи информации. Для устранения отрицательных последствий этого явления предлагается использовать следующие два подхода, которые несложно реализовать на действующих и перспективных сетях связи. Первый — основан на реализации процедуры резервирования пропускной способности для обслуживания широкополосного трафика. В этой ситуации заявки на передачу узкополосного трафика будут получать отказ в доступе несмотря на наличие ресурса достаточного для их обслуживания. Таким образом можно сделать примерно равными значения потерь заявок всех потоков. Однако это приведет к недоиспользованию передаточных возможностей линий сети. Второй подход заключается в разделении потоков узкополосного и широкополосного трафика и передаче их по отдельным соединительным линиям. Таким образом можно опять сделать примерно равными значения потерь заявок разных потоков. Для каждого сценария требуется оценить эффективность использования канальной единицы, которая достигается за счет статистического мультиплексирования на шкале времени, относящейся к поступлению заявок. Для обоснования процедуры выбора конкретного сценария необходимо провести соответствующее теоретическое исследование с использованием моделей и алгоритмов, построенных в данной работе.

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. Саламех Немер. Процесс динамической маршрутизации разноприоритетного трафика MPLS-сети // Т-Комм: Телекоммуникации и транспорт. 2013. № 7. С.109–111.
5. Богомолова Н.Е., Саламех Немер. Анализ параметров трафика сетей WiMAX при различных алгоритмах шифрования // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. № 7. С.134–135.
6. Iversen V.B. Teletraffic Engineering Handbook. ITU-D, Nov 2002. 370 p.
7. Степанов С.Н. Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. I // Автоматика и телемеханика. 2011. № 4. С. 121–132.
8. Степанов С.Н. Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. II // Автоматика и телемеханика. 2011. № 5. С.139–147.
9. Степанов С.Н., Савенков Ю.Ю. Использование кластеризации информационных потоков для повышения эффективности занятия канального ресурса в мультисервисных сетях // Электросвязь. 2010. № 11. С.22-25.

Для цитирования:

Степанов С.Н., Саламех Немер. Построение и анализ обобщенной модели передачи мультисервисного трафика реального времени в сетях связи // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 4. С. 37–44.

THE CONSTRUCTION AND ANALYSIS OF GENERALIZED NETWORK MODEL OF MULTISERVICE REAL-TIME TRAFFIC TRANSMISSION

Stepanov Sergey Nikolaevich,
Moscow, Russia, stpnvsrg@gmail.com

Salameh Nemer,
Moscow, Russia, tiger8386@mail.ru

Abstract

The generalized multiservice network model is constructed and investigated. The coming requests for service are following the Poisson model (narrowband traffic) or Engset model (broadband traffic). In the model considered the probability of call access depending both on the necessary amount of free resource units and on the degree of resource units occupation in the used route. The constructed model can be used for estimation of the necessary value of transmission speed for servicing of the real time traffic of modern communication applications. Using the model the definitions for main performance measures are formulated through values of stationary probabilities of the model states and algorithms of their calculation are analyzed based on the solution of the system of state equations or using the reduced load approximation. It is shown that exact calculation of performance measures is possible only for cases with one or two links. In general case it is necessary to use simulation. Using the results of simulation it is shown that the concurrent servicing of broadband and narrowband traffic may cause uncontrolled distribution of transmission speed in favor of narrowband traffic. To overcome the negative consequences of this event it is proposed to use reservation of resource or separate servicing of traffic streams. To validate the choice of scenario the model constructed and the results of its analysis can be used.

Keywords: multiservice models; finite number of sources; inner blocking; reservation; narrowband and broadband

traffic; system of state equations.

References

1. Stepanov S.N. The fundamentals of teletraffic of multi-service networks. Moscow, Ego-Trends, 2010. 392 p. (In Russian).
2. Ross K. W. Multiservice loss models for broadband telecommunication networks. London, Springer, 1995. 343 p.
3. Stepanov S.N. Teletraffic theory: concepts, models, applications. Moscow, Gorjachaja linija –Telekom, 2015. 868 p. (In Russian).
4. Salameh Nemer. The process of dynamic routing of multi-priority MPLS-network traffic. T-Comm. 2013. Vol. 7. No 9. Pp. 109–111. (In Russian).
5. Bogomolova N.E., Salameh Nemer. The analysis of traffic parameters of WiMAX for different cording algorithms. T-Comm. 2011. Vol 5. No 7. Pp. 134–135. (In Russian).
6. Iversen V.B. Teletraffic Engineering Handbook. ITU-D, Nov 2002.
7. Stepanov S.N. The model of joint servicing of real time traffic and data. I. Automation and Remote Control. 2011. No 4. Pp. 121–132. (In Russian).
8. Stepanov S.N. The model of joint servicing the real time traffic and data. II. Automation and Remote Control. 2011. No 5. Pp. 139 –147. (In Russian).
9. Stepanov S.N., Savenkov Yu.Yu. The usage of traffic clustering for increasing the efficiency of transmission resource occupation in multiservice networks. Telecommunication and Radio Engineering. 2010. No. 11. Pp. 22-25. (In Russian).

Information about authors:

Stepanov S.N., Ph.D., professor, professor of department of communication networks and commutation systems, Moscow Technical University of Communication and Informatics; Salameh Nemer, postgraduate student, department of communication networks and commutation systems, Moscow Technical University of Communication and Informatics.

For citation:

Stepanov S.N., Salameh Nemer. The construction and analysis of generalized network model of multiservice real-time traffic transmission. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 37–44. (In Russian).

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВА СВОЙСТВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Анисимов

Олег Витальевич,

к.т.н., доцент, доцент кафедры
автоматики и вычислительных средств
Ярославского высшего военного
училища противовоздушной обороны,
г. Ярославль, Россия,
qwaker@inbox.ru

Курчидис

Виктор Александрович,

д.т.н., профессор, профессор
кафедры автоматки
и вычислительных средств
Ярославского высшего военного
училища противовоздушной обороны,
г. Ярославль, Россия,
idahmer2@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Наиболее трудоемким процессом при восстановлении сложных технических комплексов, слабо поддающимся автоматизации, является процесс диагностирования радиоэлектронной аппаратуры в составе таких комплексов. Для трудно автоматизируемых операций процесса диагностирования важное значение имеет развитие средств информационной поддержки, обеспечивающих формирование необходимой диагностической информации для обслуживающего персонала. Это определяет предмет и цель исследования работы – развитии моделей и методов формализованного представления процесса технического диагностирования и радиоэлектронной аппаратуры для использования в средствах автоматизации систем информационной поддержки.

Показано, что использование существующих моделей радиоэлектронной аппаратуры ограничивает возможности существующих средств автоматизации информационной поддержки с точки зрения сокращения времени выполнения операций процесса диагностирования. Для устранения отмеченного ограничения предлагается выполнить переход от представления аппаратуры в пространстве диагностических признаков и параметров к представлению аппаратуры в пространстве свойств.

Предложен подход к представлению процесса технического диагностирования на основе пространства свойств радиоэлектронной аппаратуры, который основан на концептуализации модельного представления радиоэлектронной аппаратуры. Такой подход обеспечивает обслуживающему персоналу возможность оперировать с диагностической информацией в предметных понятиях и терминах естественного языка.

С практической точки зрения предложенный подход обеспечивает сокращение времени формирования диагностической информации и создает формализованную основу для развития архитектуры системы информационной поддержки процесса технического диагностирования. Предложенная архитектура такой системы организуется на основе ряда компонент, функциональность которых определяется технологией информационной поддержки операций диагностирования на основе концептуальных моделей радиоэлектронной аппаратуры.

Совокупность полученных результатов направлена на развитие моделей и методов представления процесса технического диагностирования и радиоэлектронной аппаратуры в связи с необходимостью формирования диагностической информации в соответствующей предметной области.

Результаты исследования целесообразно рассматривать в качестве методологической основы построения современных систем информационной поддержки технического диагностирования, которые ориентированы на использование электронного дела изделия в качестве информационной базы таких систем. Это способствует расширению функционала соответствующих интерактивных электронных технических руководств.

Ключевые слова:

процесс диагностирования;
пространство свойств; концептуальная
модель; восстановление
радиоэлектронной аппаратуры.

Ведение. Одним из путей повышения эксплуатационных показателей радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) сложных технических комплексов является сокращение времени восстановления за счет использования средств автоматизации. Наиболее трудоемким процессом при восстановлении радиоэлектронной аппаратуры, слабо поддающимся автоматизации, является процесс ее диагностирования. Это объясняется тем, что в этом процессе наряду с автоматически выполняемыми операциями имеется значительное число «ручных» (трудно автоматизируемых) операций, требующих непосредственного участия обслуживающего персонала (ОП). Эффективность выполнения таких операций в значительной степени определяется уровнем автоматизации информационной поддержки обслуживающего персонала в процессе диагностирования. Для сокращения времени диагностирования, а соответственно, времени восстановления РЭА необходимо повышать уровень автоматизации информационной поддержки таких «ручных» операций.

Эффективность средств автоматизации информационной поддержки процесса диагностирования в значительной степени определяется модельным представлением РЭА. Ввиду того, что деятельность обслуживающего персонала при восстановлении РЭА носит разноплановый характер, модельное представление должно отражать различные аспекты РЭА, которые характеризуют разные точки зрения на объект диагностирования. В настоящее время существует большое число различных моделей РЭА, используемых в средствах автоматизации информационной поддержки [1; 2; 5]. Существующие модели РЭА выполнены в математических терминах, а не в терминах предметной области, что приводит к необходимости выполнения обслуживающим персоналом интерпретации моделей РЭА в терминах и понятиях предметной области при выполнении операций диагностирования. При большом числе моделей РЭА, которые имеют различные нотации и соглашения по использованию, это требует дополнительных временных затрат, что ограничивает возможности по сокращению времени диагностирования и соответственно времени восстановления РЭА в существующих системах информационной поддержки (СИП) процесса технического диагностирования (ПТД). Это отражает наличие противоречия между существующим модельным представлением РЭА и необходимостью сокращения времени выполнения трудно автоматизируемых операций процесса диагностирования. В соответствии с предметом исследования выступают модели и методы формализованного представления процесса технического диагностирования и радиоэлектронной аппаратуры для систем информационной поддержки.

Один из путей повышения возможностей средств автоматизации информационной поддержки ПТД состоит в развитии концептуального подхода, основанного на описании свойств РЭА в терминах и понятиях естественного языка. При этом появляется возможность такой организации процесса диагностирования, при которой в ходе выполнения операций технического диагностирования предоставляется

возможность использования обслуживающим персоналом предметных понятий и терминов естественного языка. Это способствует существенному сокращению времени восстановления РЭА за счет повышения информационной емкости модельных элементов, используемых средствами автоматизации информационной поддержки ПТД.

Целью работы является развитие моделей и методов представления процесса технического диагностирования и радиоэлектронной аппаратуры. В работе с позиций информационной поддержки проводится анализ цикла технического диагностирования в структуре цикла восстановления РЭА и предлагается подход к описанию процесса диагностирования в пространстве свойств РЭА, который основывается на концептуализации модельного представления РЭА. Предлагаемый подход направлен на создание архитектуры СИП ПТД, которая обеспечивает возможность оперировать с диагностической информацией в предметных понятиях и терминах естественного языка.

Структура цикла восстановления радиоэлектронной аппаратуры

Анализ цикла восстановления РЭА проводится с точки зрения оценки влияния времени выполнения операций внутри цикла на значение времени восстановления T_B . В общем виде цикл восстановления представлен на рисунке 1. В цикле восстановления C_B выделяются два основных процесса – технического диагностирования ($P_{ТД}$) и текущего ремонта ($P_{Тр}$).

В процессе $P_{ТД}$ технического диагностирования РЭА выделяются операции контроля технического состояния изделия KTC и локализации отказа $ЛО$ (ГОСТ 20.911–89). Диагностирование начинается с выполнения операции KTC , которая связана с выявлением диагностических признаков факта отказа. На основе полученных признаков необходимо сформировать диагностическую информацию $ДИ$ для описания факта отказа $ОФО$ со степенью детализации достаточной для принятия решения о вероятном месте и причине отказа $АПР_{ло}$. При этом операции уточнения $ДИ$ внутри цикла $ЛО$ могут выполняться многократно.

В работе под термином «формирование диагностической информации», понимается выборка (извлечение) и объединение в определенном интегрированном виде элементов данных, необходимых при восстановлении РЭА. При этом могут использоваться различные виды представления информации: графики, диаграммы, схемы, таблицы, текст и т.д.

Если полученной $ДИ$ достаточно для описания факта отказа и принятия решения о месте и причине отказа, то формируется информация, необходимая для выполнения текущего ремонта (ремонтная информация ($РИ$)), которая используется при принятии решения ($АПР_{Зам}$) и выполнении действий по замене ($Зам$) неработоспособных элементов РЭА. После выполнения операций текущего ремонта производится возврат на выполнение операции KTC для определения технического состояния РЭА. Если при

этом техническое состояние РЭА снова определяется, как неработоспособное, то результат выполнения операции КТС используется для уточнения совокупности признаков факта отказа и все операции цикла Ц_В повторяются до перехода РЭА в работоспособное состояние. Совокупность данных операций определяет цикл технического диагностирования.

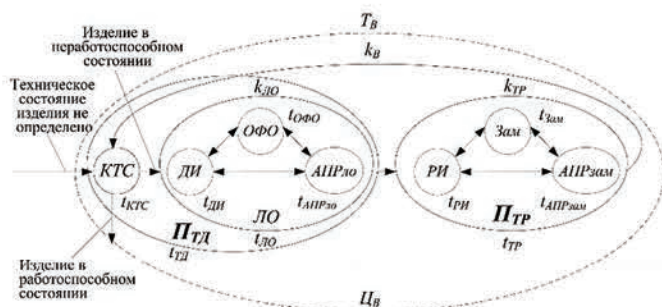


Рис.1. Цикл восстановления радиоэлектронной аппаратуры [4]

Все действия в цикле восстановления Ц_В упорядочены его структурой и занимают определенное время. Так как многие действия в цикле Ц_В могут выполняться многократно, то в общем виде время восстановления T_В целесообразно определить следующим образом:

$$T_B = (t_{ТД} + t_{ТР}) \cdot k_B = ((t_{КТС} + t_{ЛО} \cdot k_{ЛО}) + t_{ТР}) \cdot k_B = (t_{КТС} + (t_{ОФО} + t_{ДИ} + t_{АПРло}) \cdot k_{ЛО} + (t_{РИ} + t_{АПРзам} + t_{Зам}) \cdot k_{ТР}) \cdot k_B \quad (1)$$

В данном выражении k_{ЛО} – число повторений цикла локализации отказа, k_{ТР} – число повторений процесса текущего ремонта, k_В – число повторений цикла восстановления РЭА. Величины t_{ТД}, t_{ДИ}, t_{ТР} и другие обозначают время выполнения соответствующих операций.

Поскольку при восстановлении РЭА величина k_В · k_{ЛО} >> 1, то вклад времени формирования диагностической информации t_{ДИ} в общее значение времени восстановления T_В является значительным. При этом существенное сокращение времени T_В может быть достигнуто за счет уменьшения времени t_{ДИ} при выполнении операций процесса технического диагностирования, что определяет практическое значение данной работы.

Представление процесса технического диагностирования на основе пространства диагностических параметров и признаков

Один из аспектов информационной поддержки операций технического диагностирования связан с формированием ДИ, необходимой для выполнения как автоматизированных,

так и неавтоматизированных («ручных») операций процесса диагностирования. В настоящее время существуют средства автоматизации информационной поддержки, позволяющие автоматизировать отдельные операции процесса диагностирования [2]. Существующие средства основаны на использовании совокупности моделей РЭА, в том числе диагностических моделей РЭА, которые встраиваются в общий процесс диагностирования, основанный на представлении процесса диагностирования в пространстве диагностических параметров и признаков (рис. 2).

Полная совокупность диагностических параметров ДПар и их характеристик определяется в комплексе эксплуатационных документов на изделие РЭА (ГОСТ 2.051-2006) и с точки зрения выполнения операций диагностирования является неизменной. Обычно в качестве диагностических параметров используют физические величины, которые можно измерить или сравнить с эталонами.

Параметры с их значениями, которые способствуют определению места и причины отказа, выступают в качестве диагностических признаков отказа ДПр. Совокупность множеств ДПар и ДПр образует пространство диагностических параметров и признаков, определяющих информационную структуру процесса диагностирования.

В качестве исходной ДИ в процессе диагностирования (см. рис. 2) выступают признаки факта отказа ПрФО. Эти признаки характеризуют проявления отказа, которые, как правило, воспринимаются через тепловые, зрительные, звуковые, обонятельные и осязательные явления. Признаки факта отказа ПрФО формируются встроенными средствами технического диагностирования РЭА либо обслуживающим персоналом по внешним (органолептическим) особенностям проявления отказа.

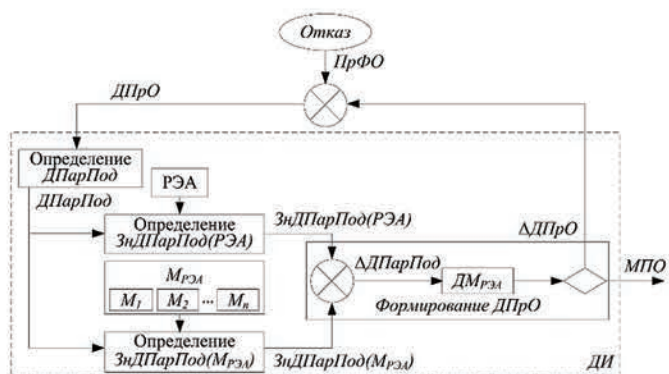


Рис.2. Структура цикла диагностирования РЭА

На основе ПрФО определяется совокупность подозреваемых диагностических параметров ДПарПод ⊆ ДПар, соответствующих устраняемому отказу. Сформированная совокупность диагностических параметров ДПарПод является исходной диагностической информацией при выборе средств, необходимых для определения значений диагностических параметров ЗнДПар. В качестве таких средств могут

выступать модели РЭА $M_{РЭА}$, а также встроенные или внешние средства технического диагностирования РЭА.

В соответствии с имеющимися методами и правилами диагностирования формируются значения $ЗнДПарПод(РЭА)$, определяющие текущее состояние РЭА. По моделям $M_{РЭА}$ формируются значения $ЗнДПарПод(M_{РЭА})$, соответствующие работоспособному состоянию РЭА (эталонные значения подозреваемых $ЗнДПарПод$). Результат сопоставления $\Delta ДПарПод$ полученных значений подозреваемых диагностических параметров используется в процедуре формирования диагностических признаков отказа, и на основе диагностической модели $ДМ_{РЭА}$ формируется множество диагностических признаков отказа $\Delta ДПрО$.

Если полученных диагностических признаков достаточно для определения вероятного места и причины отказа (МПО), то осуществляется выход из процедуры диагностирования. При этом полученная информация о МПО используется в операциях текущего ремонта общего цикла восстановления РЭА. В противном случае процесс диагностирования продолжается, и множество сформированных признаков $\Delta ДПрО$ используется для уточнения множества диагностических признаков отказа и получения нового множества $ДПрО = ПрФО \cup \Delta ДПрО$, и цикл диагностирования замыкается.

Формальные модели РЭА выступают важным источником при формировании диагностической информации. Многообразие формальных моделей РЭА $M_{РЭА}$ при организации процесса диагностирования связано с необходимостью описания различных аспектов представления аппаратуры – структурного, функционального, параметрического и т.д. [2]. Особенности представления процесса диагностирования в пространстве параметров и признаков отражаются в формальном описании моделей РЭА. Формализация, используемая в существующих моделях РЭА, основывается на использовании графов, матриц, множеств, функций и тому подобных математических конструкций. По своей структуре существующие формальные модели РЭА хорошо согласуются с представлением процесса технического диагностирования в пространстве параметров и признаков.

Такое представление отражает технологический аспект диагностирования, который определяется используемыми средствами автоматизации, средствами технического диагностирования, моделями РЭА, выполняемыми действиями (элементарные проверки, контрольные измерения и т.п.). При таком представлении процесса диагностирования в качестве диагностической информации $ДИ_T$ выступает множество следующих данных, использующихся в цикле диагностирования:

$$ДИ_T = \langle ПрФО, ДПрО, ДПарПод, ЗнДПарПод(РЭА), ЗнДПарПод(M_{РЭА}), \Delta ДПарПод, \Delta ДПрО \rangle. \quad (2)$$

В виду того, что деятельность обслуживающего персонала при техническом диагностировании РЭА имеет разноплановый характер, формируемая диагностическая информация определяет многообразие траекторий диагностирования, характеризующих возможные пути выполнения соответствующих операций с точки зрения технологии диагностирования (рис. 3).

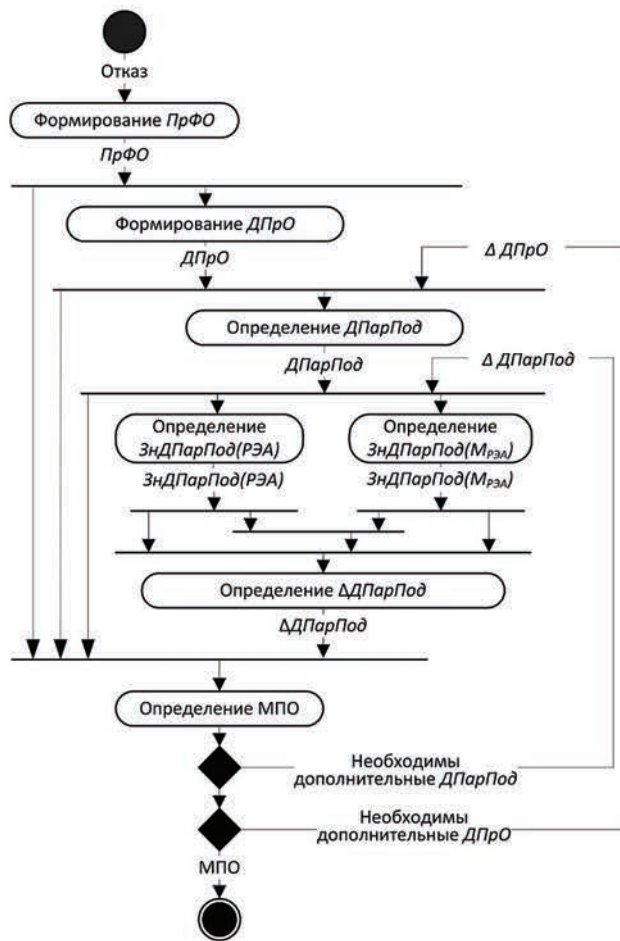


Рис.3. Представление процесса технического диагностирования в пространстве параметров и признаков

С точки зрения автоматизации информационной поддержки использование существующих формальных моделей РЭА $M_{РЭА}$ является эффективным при выполнении хорошо автоматизируемых операций в процессе технического диагностирования (поиск и выборка данных, автоматический анализ данных и т.п.). Однако их использование является малоэффективным при выполнении трудно автоматизируемых и «ручных» операций процесса диагностирования, поскольку требует от ОП знания большого числа математических нотаций и особенностей описания РЭА в терминах этих моделей. Поэтому при работе с такими моделями ОП должен постоянно выполнять интерпретацию диагностической информации в терминах используемых моделей РЭА и в терминах предметной области, что предъявляет повышенные требования к уровню квалификации обслуживающего

персонала и вносит неизбежные временные задержки при выполнении операций технического диагностирования.

Формальное определение пространства свойств РЭА

Термин «свойство» является многозначным [5-7], и в работе он определяется, как совокупность фактов, отражающих признаки, характеризующие радиоэлектронную аппаратуру в работоспособном либо в неработоспособном состоянии. Свойства РЭА могут быть получены как посредством наблюдения или измерения, так и посредством логических умозаключений на основании наблюдений, измерений или изучения эксплуатационной и нормативной документации.

При таком подходе диагностическую информацию можно представлять, как совокупность свойств элементов РЭА, отражающих различные аспекты изделия. Эти свойства характеризуют связанные с элементами РЭА названия, маркировки, структуры, функциональность, конструктивные особенности и т.п. При этом параметры РЭА и их значения целесообразно представлять в виде свойств элементов РЭА.

Таким образом, работоспособное состояние изделия может быть представлено определенной совокупностью номинальных свойств РЭА, которые определяются в соответствии с комплектом эксплуатационных и нормативных документов. Это позволяет представить отказ, как событие, состоящее в нарушении некоторой совокупности номинальных свойств. При этом свойства характеризуют факты, определяющие диагностические признаки отказа.

Для описания всех свойств РЭА $\hat{P} = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ предлагается формализация в виде пространства свойств, характеризующих аппаратуру. Для этого РЭА представляется конечной совокупностью элементов $\hat{E} = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$. Всякое свойство РЭА $p \in \hat{P}$ формально определяется, как отношение, связывающее некоторое число его элементов $p = r(e^{(1)}, e^{(2)}, \dots, e^{(q(p))})$, где $e^{(i)} \in \hat{E}$, $i = \overline{1, q(p)}$, $q(p)$ – количество элементов, участвующих в формировании свойства p . Число $q(p)$ определяет порядок отношения, так, что при $q(p) = 1$ отношение является унарным, при $q(p) = 2$ – бинарным и т.д. Совокупность всех рассматриваемых отношений на множестве \hat{E} для конкретного РЭА обозначается, как $\hat{R} = \hat{R}(\hat{E})$.

Примерами унарных отношений являются: «индикатор А светится» («индикатор светит себя»), «функция F не выполняется» («функция не выполняет себя»). Отношение «ячейка А входит в блок Б» является примером бинарного отношения, в котором отношение «входит» связывает два элемента – ячейку А и блок Б. Аналогично отношение «цепь С соединяет разъем А и разъем Б» является примером тернарного отношения «соединяет», которое связывает три элемента – цепь С (электрическая), разъем А и разъем Б.

Поскольку отношения $r \in \hat{R}$ должны отражать различные аспекты представления РЭА (структурный, функцио-

нальный, параметрический и т.п.), то множество отношений \hat{R} целесообразно определенным образом структурировать. Для этого множество элементов \hat{E} следует представить в виде разбиения $\hat{E} = \{E_1, E_2, \dots, E_Q\}$, в котором $E_i \subseteq \hat{E}$ ($i = \overline{1, Q}$), $E_i \cap E_j = \emptyset$ ($i \neq j$), $\bigcup_{i=1}^Q E_i = \hat{E}$. При этом подмножество E_i определяет множество элементов, которые выбраны для представления i -го аспекта РЭА ($i = \overline{1, Q}$).

Например, для описания структурного аспекта в качестве элементов представления РЭА могут выступать элементы структурной иерархии изделия: блоки, ячейки, платы, разъемы, контакты и т.п. Для описания функционального аспекта в качестве элементов представления РЭА могут использоваться обозначения, аббревиатуры либо названия выполняемых функций. Для описания параметрического аспекта в качестве элементов представления РЭА могут выступать параметры с их значениями.

При таком представлении множества \hat{E} все отношения $\hat{R}(\hat{E})$ можно разбить на внутриаспектные и межаспектные отношения. Внутриаспектные отношения для k -го аспекта устанавливают связи между элементами подмножества $E_k \subseteq \hat{E}$: $\hat{R}_k = \hat{R}(E_k) \subseteq \hat{R}(\hat{E})$. Естественно, что эти отношения могут иметь любую арность. Межаспектные отношения устанавливают связи между элементами различных подмножеств $E_k \subseteq \hat{E}$. Например, для аспектов k, l, \dots множество соответствующих межаспектных многоарных отношений определяется, как $\hat{R}_{kl\dots} = \hat{R}(E_k, E_l, \dots)$. Полное множество всех определяемых отношений можно обозначить, как $\hat{R} = \hat{R}(E_1, E_2, \dots, E_Q)$.

Примером бинарного отношения структурного аспекта является «ячейка А входит в блок Б», а примером бинарного межаспектного (структурно-функционального) отношения является «блок А выполняет функцию F».

Для формирования пространства свойств необходимо определить множество базовых (атомарных) отношений $\hat{R}_B = \hat{R}_B(E_1, E_2, \dots, E_Q)$, с помощью которых представляются атомарные (элементарные, базовые) свойства РЭА. На их основе можно представить любые свойства РЭА из множества \hat{R} . Естественно, что в общем случае $\hat{R}_B \subset \hat{R}$, причем $|\hat{R}_B| \ll |\hat{R}|$, где $||$ обозначает мощность множества.

Учитывая, что все атомарные свойства РЭА определяются через отношения множества \hat{R}_B , можно сформировать базовое пространство свойств (базис пространства свойств) РЭА, используемых для представления аппаратуры с точки зрения диагностирования, в следующем виде:

$$P_B = \left\langle E_1, E_2, \dots, E_Q, \hat{R}_B(E_1, E_2, \dots, E_Q) \right\rangle \quad (3)$$

В данном выражении множества E_1, E_2, \dots, E_Q выступают образующими пространства свойств, а множество $\hat{R}_B(E_1, E_2, \dots, E_Q)$ устанавливает связи между этими множествами в форме атомарных отношений.

Графическая интерпретация базового пространства свойств Π_B при использовании унарных и бинарных атомарных отношений представлена на рисунке 4. Фактически в этом случае пространство Π_B представляется в виде графа, построенного на образующих множествах E_1, E_2, \dots, E_Q . Комбинируя элементарные отношения из пространства Π_B , можно формировать полное множество свойств РЭА в виде пространства свойств Π :

$$\Pi = \left\langle E_1, E_2, \dots, E_Q, \hat{R}(E_1, E_2, \dots, E_Q) \right\rangle \quad (4)$$

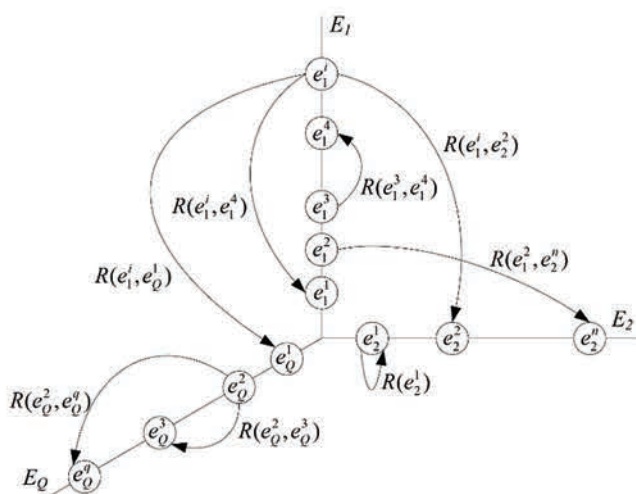


Рис.4. Базовое пространство свойств

В данном выражении множество \hat{R} образуется путем композиции атомарных отношений $r \in \hat{R}_B$ на основе формальных и языковых логических связок. Например, используя два атомарных отношения $R_B^1 = \text{«ячейка А входит в блок Б»}$, $R_B^2 = \text{«ячейка А выполняет функцию F»}$ и различные связки, можно сформировать несколько сложных отношений:

$R^1 = \text{«ячейка А входит в блок Б и выполняет функцию F»}$,

$R^2 = \text{«ячейка А, которая входит в блок Б и не выполняет функцию F»}$,

$R^3 = \text{«ячейка А, которая входит в блок Б, но выполняет функцию F»}$

и т.п.

В пространстве свойств такие отношения становятся многоарными, так, что в общем случае графически пространство свойств Π может быть представлено в виде гиперграфа.

Таким образом, с прикладной точки зрения пространство свойств Π можно рассматривать, как некоторую интегрированную формальную модель РЭА, которая обеспечивает многоаспектное представление РЭА. Поскольку всякое свойство РЭА в такой модели может быть выражено с помощью высказывания в языковой форме, то следует отметить, что предлагаемая модель представления РЭА предметно ориентирована на выполнение операций процесса технического диагностирования с участием обслуживающего персонала. Для интегрирования предлагаемой модели в процесс технического диагностирования необходимо этот процесс представить на основе пространства свойств РЭА.

Представление процесса диагностирования на основе пространстве свойств РЭА

При представлении процесса диагностирования в пространстве свойств (рис. 5) в качестве исходной диагностической информации $ДИ$ выступают те свойства РЭА, которые описывают факт отказа (свойства факта отказа, $СвФО$). Обычно эти свойства формулируются обслуживающим персоналом по внешним признакам проявления отказа либо на основании данных контрольно-диагностического оборудования.

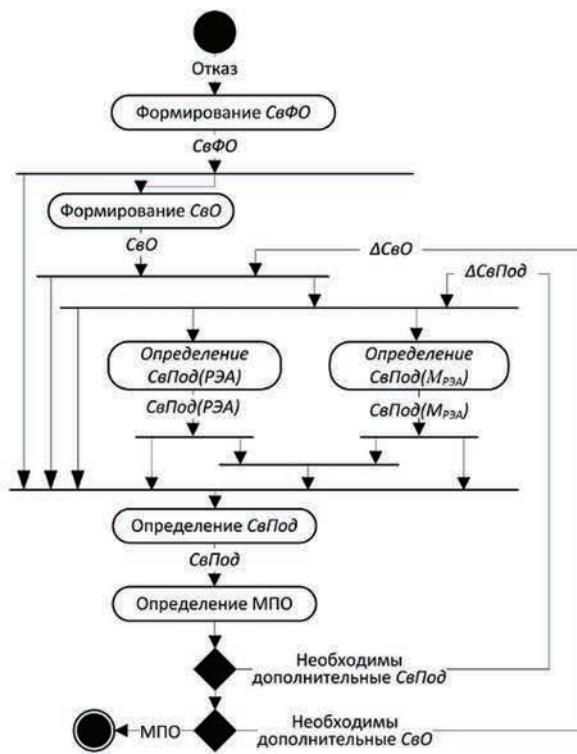


Рис.5. Представление процесса технического диагностирования на основе пространстве свойств РЭА

На основе $СвФО$ диагностирование в пространстве свойств Π организуется, как итеративный процесс, направленный на формирование совокупности свойств

$CвПод \subseteq \Pi$ радиоэлектронной аппаратуры, подозреваемых в их связи с возникновением и проявлением отказа и достаточных для определения вероятного места и причины отказа. Итеративность процесса диагностирования определяется необходимостью уточнения свойств $CвПод$. При этом процесс в целом характеризуется многовариантностью последовательности действий по определению $CвПод$, что соответствует разным возможным траекториям выполнения последовательности операций диагностирования.

Основой процесса технического диагностирования в пространстве свойств (см. рис. 5) выступают два итеративных цикла – внешний и внутренний, которые используют общее ядро, предназначенное для определения свойств $CвПод$. В этом ядре для определения свойств $CвПод$ выполняется сопоставление подозреваемых свойств $CвПод(РЭА)$ и $CвПод(M_{РЭА})$. Совокупность свойств $CвПод(РЭА)$ определяется на основе анализа текущего состояния РЭА, например, по результатам элементарных проверок. Совокупность свойств $CвПод(M_{РЭА})$ характеризует номинальные свойства РЭА и формируется в соответствии с модельным представлением аппаратуры.

Внутренний цикл связан с необходимостью формирования дополнительных подозреваемых свойств $\Delta CвПод$ в тех случаях, если имеющихся свойств $CвПод$ недостаточно для определения вероятного МПО. Наличие внешнего цикла определяется необходимостью формирования дополнительных свойств отказа $\Delta CвО$, способствующих уточнению описания отказа.

Предложенное представление отражает ментальный аспект в техническом диагностировании РЭА, который связан с участием в процессе диагностирования обслуживающего персонала, обладающего представлениями, а также логикой суждений и умозаключений. С этой точки зрения следует отметить, что предложенное представление процесса диагностирования отражает общую логику поиска места и причины отказа обслуживающим персоналом на основе информации о свойствах РЭА. При таком представлении процесса диагностирования в качестве диагностической информации $ДИ_M$ выступает множество следующих данных, используемых в цикле диагностирования:

$$ДИ_M = \langle CвФО, CвО, \Delta CвО, CвПод, \Delta CвПод, CвПод(РЭА), CвПод(M_{РЭА}) \rangle. \quad (5)$$

Совмещение ментального и технологического представления процесса технического диагностирования.

Особенность представления диагностического процесса с участием обслуживающего персонала состоит в необходимости одновременного учета обоих аспектов – ментального и технологического, что может быть реализовано путем совмещения обоих описанных выше представлений процесса диагностирования. Это требует использо-

вания определенных средств сопряжения, обеспечивающих согласование содержания свойств, выражаемых в предметных терминах и понятиях, с выполняемыми технологическими действиями.

Совмещенное представление процесса диагностирования приведено на рисунке 6. При этом сопряжение ментального и технологического представления процесса диагностирования предлагается осуществлять с помощью интерпретатора диагностической информации $ИнДИ$, основой которого выступает концептуальное модельное представление РЭА $КМ_{РЭА}$.

Концептуальное представление $КМ_{РЭА}$ используется для отражения разных аспектов представления РЭА (структурный, функциональный, параметрический и т.д.), а также разных видов и форм (текст, схемы, таблицы, списки и т.п.) представления диагностической информации в предметных терминах и понятиях, выражаемых на естественном языке. Использование такого представления позволяет в процессе диагностирования определять свойства требуемой диагностической информации в конструкциях естественно-подобного языка.

Использование концептуальной модели $КМ_{РЭА}$ позволяет согласовывать в рамках единого информационного пространства процесса диагностирования представление диагностической информации в виде свойств с представлением диагностической информации на основе параметров и признаков.

Это отражается на рис. 6 в виде информационных связей, соединяющих элементы ментального представления процесса диагностирования с элементами технологического представления. При этом используется два вида связей, которые отражают особенности формирования диагностической информации, связанные с переходом от одного вида представления информации в процессе диагностирования к другому (от параметров к свойствам и наоборот).

Первый вид связей (трансформирующие связи) показывает возможность получения информации о признаках и параметрах по совокупности свойств, определяемых в процессе диагностирования. На рис. 6 такие связи показаны сплошными линиями ведущими справа налево через интерпретатор $ИнДИ$.

Интерпретатор $ИнДИ$ на основе $КМ_{РЭА}$ по имеющейся совокупности свойств выделяет соответствующую часть модельного представления РЭА в параметрах и признаках. В результате обеспечивается возможность преобразования (трансформации) одного вида диагностической информации (в виде свойств) в другой вид (в виде параметров и признаков). Формально $ИнДИ$ реализует совокупность следующих трансформирующих преобразований:

$$ПрФО = ИнДИ(CвФО)$$

$$ДПрО = ИнДИ(CвО)$$

$$\Delta ДПрО = ИнДИ(\Delta CвПод)$$

$$ДПарПор = ИнДИ(CвПод)$$

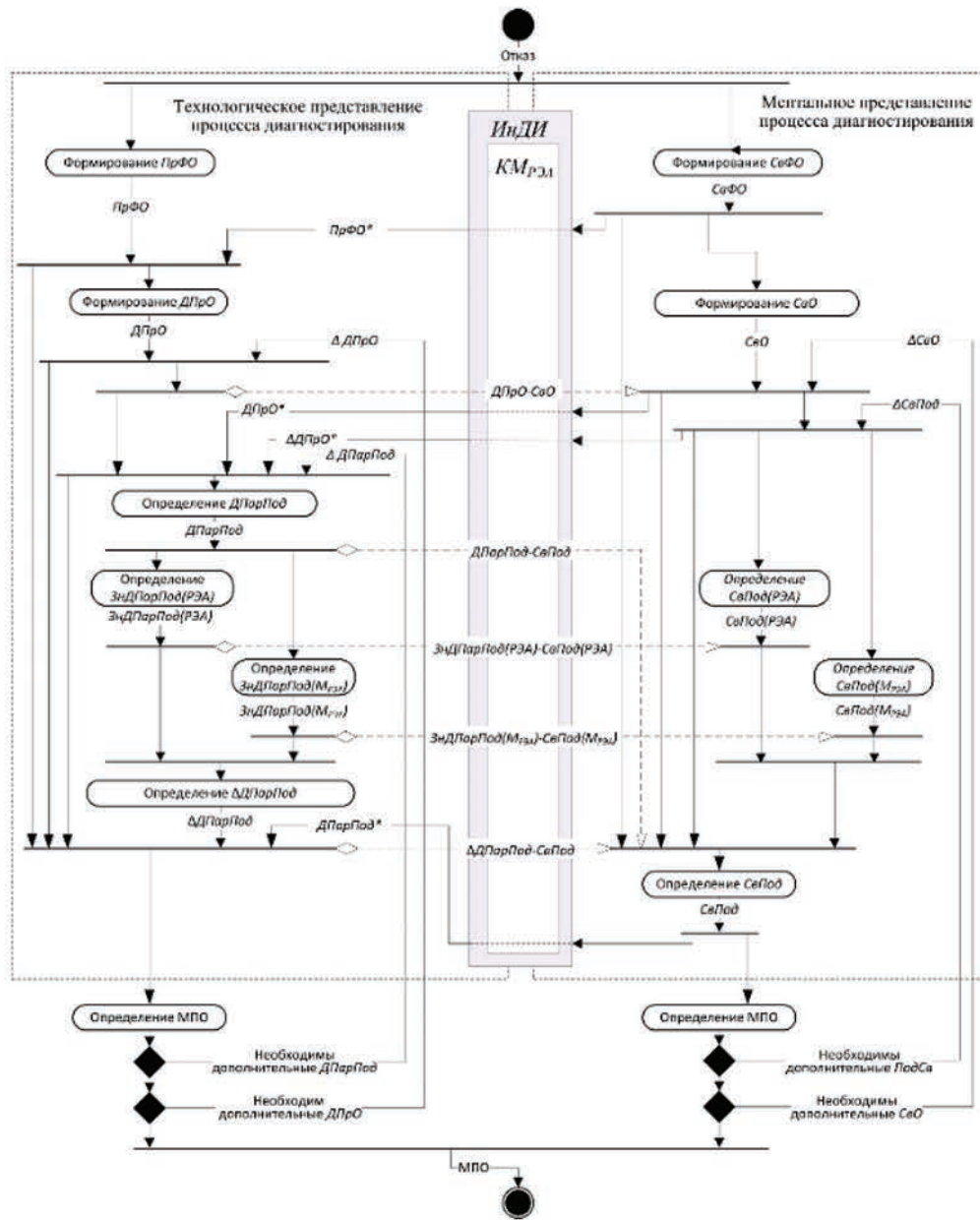


Рис.6. Совмещенное представление процесса технического диагностирования

Такая формализация может выступать в качестве основы для автоматизации информационной поддержки процесса диагностирования с точки зрения формирования диагностической информации и ее предоставления обслуживающему персоналу.

Второй вид связей (ассоциативные связи) отражает наличие ассоциативного восприятия обслуживающим персоналом информации о параметрах и признаках, определяемых в процессе диагностирования на основе элементарных проверок аппаратуры. На рисунке 6 такие связи показаны пунктирными линиями, идущими слева направо. Эти связи учитывают влияние информации об имеющихся параметрах и признаках на формирование целесообразной совокупности соответствующих свойств:

$ДПрО - СвО,$
 $ДПарПод - СвПод,$
 $ЗндПарПод(РЭА) - СвПод(РЭА),$
 $ЗндПарПод(МРЭЛ) - СвПод(МРЭЛ),$
 $ΔДПарПод - СвПод.$

Перечисленные ассоциативные связи также участвуют в формировании диагностической информации, однако, в отличие от связей первого вида, они мало приспособлены для автоматизации формирования соответствующей диагностической информации ввиду их слабой формализации.

Наличие двух данных видов связей отражает тот факт, что в общем случае в процессе диагностирования осуществляется многократный переход от одного вида представления информации к другому с целью формирования необходимой диагностической информации, направленной на определение места и причины отказа. Это определяет большое разнообразие возможных путей формирования диагностической информации и связанное с этим большое число траекторий выполнения процесса диагностирования, которые могут носить многократно повторяющийся циклический характер.

Каждая возможная траектория выполнения диагностирования на рисунке 6 представляет собой некоторый путь из начальной точки процесса диагностирования в конечную. При этом всякая траектория диагностирования характеризуется определенным временем формирования диагностической информации $t_{ди}$, которое, в соответствии с формулой (1) является одним из основных показателей, влияющих на время восстановления. Таким образом, сокращение временных затрат на формирование диагностической информации в целом способствует уменьшению времени восстановления.

В связи с этим следует отметить, что с прикладной точки зрения предлагаемый подход создает основу для развития методов формирования диагностической информации, использование которых в средствах автоматизации обеспечивает сокращение времени формирования диагностической информации. Развитие таких методов затрагивает средства автоматизации информационной поддержки и приводит к необходимости совершенствования архитектуры существующих систем информационной поддержки процесса технического диагностирования.

Архитектура систем информационной поддержки процесса технического диагностирования на основе концептуализации.

Развитие архитектуры систем информационной поддержки процесса диагностирования связано с использованием формализованных средств концептуализации в различных компонентах этих систем. В основном, это касается интеграции существующих формальных моделей РЭА на основе совокупности концептуальных моделей, что в свою очередь, затрагивает средства формирования и интерпретации запросов, средства формирования диагностической информации, а также интерфейсные средства обслуживающего персонала. На рисунке 7 показан архитектурный вариант построения системы информационной поддержки процесса диагностирования, в котором выделены компоненты, функционально связанные с соответствующими средствами.

Концептуализация моделей РЭА обеспечивает возможность перехода от понятий и терминов предметной области к представлению соответствующих аспектов РЭА на основе совокупности существующих моделей (идентификационной, параметрической, структурно-функциональной),

которые согласованы со структурой базы данных. Разнообразие форм и видов представления диагностической информации обуславливает использование разных видов концептуального представления РЭА.

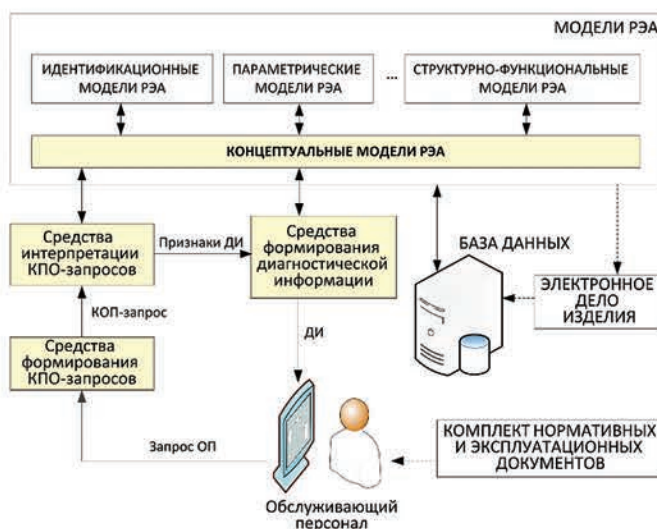


Рис.7. Предлагаемая архитектура систем информационной поддержки процесса диагностирования

Концептуализация запросной системы состоит в том, что обслуживающему персоналу предоставляется возможность формировать запросы на диагностическую информацию с использованием концептов и понятий предметной области (КОП-запросы). Для выделения из КОП-запросов информационных признаков, которые определяют требования к запрашиваемой диагностической информации, в системе предусматриваются средства интерпретации КОП-запросов. При этом логика интерпретации учитывает особенности структуры КОП-запросов и концептуального модельного представления РЭА.

Использование концептуализации в средствах формирования диагностической информации обеспечивает возможность представления информации, необходимой для выполнения операций процесса диагностирования, в предметных понятиях и терминах естественного языка. Это увеличивает разнообразие форм представления диагностической информации в системах информационной поддержки процесса диагностирования за счет возможности использования конструкций естественно-подобного языка.

Представленные средства способствуют развитию мультимедийных интерфейсов в СИП ПТД путем совместного использования текста, графики и речи при формировании КОП-запросов и предоставлении обслуживающему персоналу сформированной диагностической информации.

Предлагаемый подход к архитектурной организации СИП ПТД в целом ориентирован на использование электронного дела изделия в структуре систем информационной поддержки и позволяет расширить функционал интерактивных электронных технических руководств 3 и 4

класса за счет развития интерактивности в части формирования необходимой диагностической информации. При этом обеспечивается возможность формирования интерактивных электронных документов на принципиально новой методологической основе.

Предлагаемое архитектурное решение имеет ярко выраженный модульный характер и хорошо согласуется с принципами объектно-ориентированного подхода к построению информационно-программных систем.

Заключение. Наиболее трудоемким процессом при восстановлении сложных технических комплексов, слабо поддающимся автоматизации, является процесс диагностирования радиоэлектронной аппаратуры в составе таких комплексов. Для трудно автоматизируемых операций процесса диагностирования важное значение имеет развитие средств информационной поддержки, обеспечивающих формирование необходимой диагностической информации для обслуживающего персонала. Одним из направлений совершенствования таких средств является переход к представлению процесса технического диагностирования на основе пространства свойств, который основан на концептуальном представлении радиоэлектронной аппаратуры.

Представление процесса технического диагностирования на основе пространства свойств радиоэлектронной аппаратуры обеспечивает обслуживающему персоналу возможность оперировать с диагностической информацией в предметных понятиях и терминах естественного языка. С прикладной точки зрения это обеспечивает сокращение времени формирования диагностической информации и создает формализованную основу для развития архитектуры системы информационной поддержки процесса технического диагностирования. Архитектура такой системы организуется на основе ряда компонент, функциональность

которых определяется технологией информационной поддержки операций диагностирования на основе концептуальных моделей радиоэлектронной аппаратуры.

Предложенное архитектурное решение в целом ориентировано на использование электронного дела изделия в качестве информационной базы системы информационной поддержки процесса технического диагностирования и позволяет расширить функционал соответствующих интерактивных электронных технических руководств.

Литература

1. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. М.: Радио и связь, 1988. 256 с.
2. Анисимов О.В., Игнатьев С.В., Курчидис В.А. Модели радиоэлектронной аппаратуры как основа организации информационных интерфейсов в системах автоматизации технической эксплуатации: монография. М.: Норд, 2013. 88 с.
3. Анисимов О.В., Курчидис В.А., Попов Т.А. Концептуальное представление электрических схем радиоэлектронной аппаратуры на основе фреймовой модели // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2015. № 2. С. 20-28.
4. Анисимов О.В., Курчидис В.А., Попов Т.А. Модельное представление цикла восстановления радиоэлектронных средств // Вестник Ярославского зенитного ракетного института ПВО. 2014. Вып. 16. С. 120-124.
5. Ожегов С.И. Толковый словарь русского языка: около 100 000 слов, терминов и фразеологических выражений / под ред. Л.И. Скворцова. 26-е изд., испр. и доп. М.: Оникс, 2009. 1359 с.
6. Ефремова Т.Ф., Костомаров В.Г. Словарь грамматических трудностей русского языка: более 2 500 слов. М.: Астрель, 2009. 379 с.
7. Ушаков Д.Н. Большой толковый словарь современного русского языка: 180000 слов и словосочетаний. М.: Альта-Принт, 2008. 1239 с.

Для цитирования:

Анисимов О.В., Курчидис В.А. Представление процесса технического диагностирования на основе пространства свойств радиоэлектронной аппаратуры // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 4. С. 45–55.

REPRESENTATION OF TECHNICAL DIAGNOSIS PROCESS BASED ON THE SPACE OF RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT PROPERTIES

Anisimov Oleg Vitalyevich,

Yaroslavl, Russia, qwaker@inbox.ru

Kurchidis Victor Vitalyevich,

Yaroslavl, Russia, idachmer2@yandex.ru

Abstract

The process of diagnosis of electronic equipment in the restoration of complex technical systems is the most laborious process, poorly amenable to automation. It is important to develop the means of information support, ensuring the formation of the necessary diagnostic information for maintenance staff when performing operations of the process of electronic equipment diagnosis. This determines the aim and the subject of ongoing research – development of models and methods of formalized representation of the process of technical diagnostics and electronic equipment for use in the automation of information support systems.

It is shown that the use of existing models of electronic equipment restricts the capabilities of existing automation tools for information support, in terms of reducing run-time operations of the diagnosis process. To eliminate the marked restriction it is proposed to perform the transition from the electronic equipment representation in space of diagnostic parameters and features to the equipment representation in the space of equipment properties.

The approach is proposed to represent the process of technical diagnostics based on the space of electronic equipment properties. Such approach is based on the conceptualization for model representation of electronic equipment. This approach provides maintenance staff the ability to operate with the diagnostic information in the subject concepts and terms of natural language.

From the practical point of view, the proposed approach provides a reduction in time of forming the diagnostic information and creates a formal basis for the development of the architecture of the information support system for process of technical diagnostics. The proposed architecture of such system is organized on the base of a number of component, the functionality of which is determined by the technology of information support for diagnostics operations based on conceptual models of electronic equipment.

The set of received results develops methods of model representation of the process of technical diagnostics and electronic equipment in connection with necessity of formation of diagnostic information in the relevant subject area.

The obtained results should be considered as methodological bases

of construction of modern information support systems for technical diagnostics, which is focused on the use of electronic documents as the information base of such systems. This enhances the functionality of the relevant interactive technical manuals.

Keywords: diagnosis process; the space properties; conceptual model; the recovery of radio electronic equipment.

References

1. Davydov P.S. Tehnicheskaja diagnostika radioelektronnyh ustrojstv i sistem. [Technical diagnostics of electronic devices and systems]. Moscow, Radio i svjaz', 1988. 256 p. (In Russian).
2. Anisimov O.V., Ignat'ev S.V., Kurchidis V.A. Modeli radio-elektronnoy apparatury kak osnova organizacii informacionnyh interfejsov v sistemah avtomatizacii tehnicheckoj jekspluatacii. [Models of electronic equipment as the basis of organization of information interfaces in automation systems technical operation: monograph] Moscow, Nord, 2013. 88 p. (In Russian).
3. Anisimov O.V., Kurchidis V.A., Popov T. Conceptual representation of electrical schemes electronics based on frame model. H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 2. Pp. 20–28. (In Russian).
4. Anisimov O.V., Kurchidis V.A., Popov T.A. Model'noe predstavlenie cikla vosstanovlenija radioelektronnyh sredstv. [Model representation of the cycle of recovery of radio-electronic means]. Vestnik Jaroslavskogo zenitnogo raketnogo instituta PVO. 2014. No.16. Pp. 120-124. (In Russian).
5. Ozhegov S.I., Skvorcova L.I. (Ed.). Tolkovyj slovar' russkogo jazyka: okolo 100 000 slov, terminov i frazeologicheskikh vyrazhenij. [Explanatory dictionary of Russian language around 100 000 words, terms and phraseological expressions]. 26nd ed, Moscow, Oniks, 2009. 1359 p. (In Russian).
6. Efremova T.F., Kostomarov V.G. Slovar' grammaticheskikh trudnostej russkogo jazyka: bolee 2 500 slov. [The grammatical dictionary of Russian language difficulties: more than 2 500 words]. Moscow, Astrel, 2009. 379 p. (In Russian).
7. Ushakov D.N. Bol'shoj tolkovyj slovar' sovremennogo russkogo jazyka: 180000 slov i slovosochetaniy. [Big explanatory dictionary of modern Russian: 180,000 words and phrases]. Moscow, Alta-Print, 2008. 1239 p. (In Russian).

Information about authors:

Anisimov O.V., Ph.D., associate professor, associate professor of the Department of automation and computing devices, Yaroslavl Higher Military School of Air Defense;

Kurchidis V.A., Ph.D., professor, professor of the Department of automation and computing devices Yaroslavl Higher Military School of Air Defense.

For citation:

Anisimov O.V., Kurchidis V.A. Representation of technical diagnosis process based on the space of radio electronic equipment properties. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 45–55. (In Russian).

МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ ДОСТУПНОСТИ ЗНАНИЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В ПАМЯТИ КИБЕРСИСТЕМЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИЮ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОБЪЕКТЫ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Бирюков

Денис Николаевич,

к.т.н., профессор Военно-космической
академии имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
biryukov.d.n@yandex.ru

Глухов

Александр Петрович,

к.т.н., начальник департамента
информационной безопасности
ОАО «РЖД»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
gie76@yandex.ru

Сабиров

Тимур Римович,

адъюнкт Военно-космической
академии имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
rowing-team@mail.ru

Пилькевич

Сергей Владимирович,

к.т.н., докторант Военно-космической
академии имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия,
ambers@list.ru

Ключевые слова:

ассоциативная ресурсная сеть;
ассоциативный сигнал;
интеллектуальная система;
память; онтология.

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме повышения оперативности обработки большого массива данных. Данные представлены в памяти киберсистем, являющиеся интеллектуальными и участвующими в процессе работы по обеспечению информационной безопасности критически важных объектов. Функционирование механизмов интеллектуальной обработки данных базируется на использовании баз знаний, аккумулирующих знания о предметной области, представляющей интерес в рамках решаемых задач. Лавинообразный характер роста объемов знаний ставит проблему ограничения количества данных, одновременно находящихся в оперативной обработке. Таким образом, актуализируется задача изменения доступности знаний, представленных в памяти киберсистемы, обеспечивающей информационную безопасность критической информационной инфраструктуры. Обращает на себя внимание динамический характер решаемой задачи, а также тот факт, что аналогичные процессы, сопряженные с обработкой информации характерны для функционирования конструктивного типа мышления и когнитивных способностей человека. Предполагается, что знания, представлены в памяти киберсистемы в виде совокупности частично упорядоченных концептов, объединенных в рамках онтологии предметной области. При этом пополнение базы знаний возможно, как посредством разнородных аппаратно-программных модулей (сенсоров), осуществляющих мониторинг Внешнего Мира, так и командой операторов, заносающих сведения критичные для решаемых задач, вручную. Для изменения доступности знаний, хранящихся в памяти киберсистемы, обеспечивающей информационную безопасность критической информационной инфраструктуры, предлагается использовать разработанную модель ассоциативной ресурсной сети, функционирующую параллельно с онтологией и модель распространения ассоциативного сигнала по ней. Описанные модели позволяют учитывать интенсивность поступления и обработки информации (запросов), а также процессы «забывания» знаний. Предложенная модель распространения ассоциативного сигнала по ассоциативной ресурсной сети способствует учёту контекстов при извлечении и интерпретации знаний, представленных в памяти киберсистемы. Совокупность представленных подходов позволяют реализовать процедуру ранжирования знаний в памяти системы по уровню их доступности, напрямую зависящему от их актуальности, апробированности и подтвержденности

Введение. В последнее время применение вероятностных подходов для определения возможностей по нейтрализации деструктивных воздействий на объекты критической информационной инфраструктуры (КИИ) становится всё более затруднительным. Это положение дел связано в том числе и с тем, что система интеллектуального управления информационной безопасностью (ИБ) КИИ в процессе своего функционирования должна быть способной формировать спецификации процессов предотвращения новых типов атакующих воздействий, а следовательно говорить о «вероятности» в таком случае не всегда корректно.

Если учесть, что в базе знаний (БЗ) интеллектуальной системы (ИС) может быть представлено достаточно большое количество спецификаций, то пересчёт вероятностей по результатам наблюдений за событиями, произошедшими в киберпространстве, может потребовать больших вычислительных и временных затрат.

Учитывая указанное, предлагается обратить внимание на модели, описывающие некоторые когнитивные способности человека. Люди способны отдавать предпочтение тем или иным альтернативам при моделировании различных процессов.

Модель обобщённой ассоциативной ресурсной сети для отображения доступности знаний в памяти киберсистемы. В работе [1] предложена сетевая модель, позволяющая структурировать память таким образом, что поиск информации становится возможно осуществлять, следуя по ассоциативным цепочкам, создающимся и изменяющимся автоматически на уровне топологии сети – в процессе поступления и обработки информации (запросов). Причем, часто используемая информация оказывается более доступной, и сила ассоциативных связей тем больше, чем чаще сущности упоминаются вместе. Такое хранение и поиск информации в памяти отчасти имитирует клеточные ансамбли Хейбба [2]. Как видится, указанный подход к упорядочиванию знаний в памяти может быть применён при реализации процедур хранения и обработки данных в памяти киберсистемы, обеспечивающей информационную безопасность критической информационной инфраструктуры.

В работе [3] описана модель памяти, названная *ассоциативной ресурсной сетью*. Эта модель представлена ориентированным графом с переменной топологией. Вершины соответствуют сущностям предметной области, ребра – ассоциативным связям между ними. Предложенная модель хорошо сочетается с моделью представления онтологий предметных областей.

Каждая сущность, представленная в ассоциативной ресурсной сети, обладает *яркостью*. Чем больше яркость вершины, тем она «виднее» – доступнее при поиске. Ребра обладают ограниченными пропускными способностями. Чем чаще две вершины участвуют в запросе совместно, тем больше пропускная способность ребер их связывающих. Чем больше пропускная способность ребра между двумя вершинами, тем больше сила ассоциации между соответствующими

сущностями (вершинами). Пример схематического представления ассоциативной ресурсной сети приведён на рис. 1.

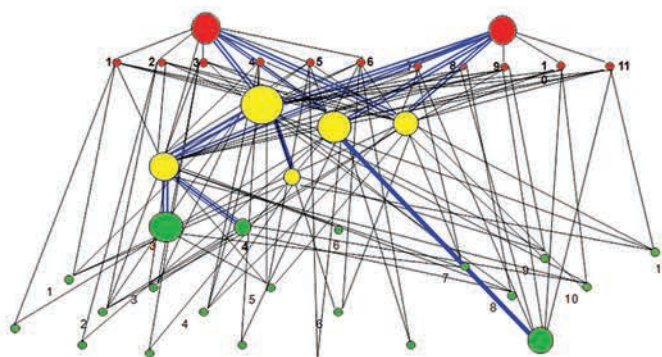


Рис.1. Графическое представление ассоциативной ресурсной сети, отражающей абстрактную предметную область

Сама же ассоциативная ресурсная сеть (АРС) строится и функционирует над онтологией предметной области, строящейся и используемой в интеллектуальной деятельности киберсистемы, призванной обеспечить информационную безопасность КИИ (рис. 2).

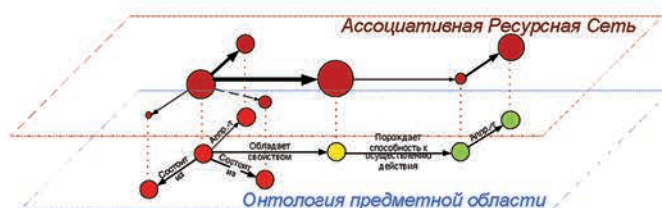


Рис.2. Схема совместного функционирования ассоциативной ресурсной сети и онтологии предметной области

Ассоциативную ресурсную сеть предлагается описывать как ориентированный граф, задаваемый через множество вершин АРС, однозначно соотнесённых с концептами онтологии рассматриваемой предметной области [4], и множество направленных ребер.

Определение 1: $v[id] = v_{(id, tv, brt)}$ – вершина АРС, где:

$id = NV(v_{(id, tv, brt)})$ – уникальный идентификатор вершины (её имя, которое может соответствовать названию концепта онтологии, с которым вершина АРС связана, а может, например, быть представлен в виде номера, $id \in ID_V$, где ID_V – множество идентификаторов вершин АРС),

$tv = TV(v[id])$ – тип концепта онтологии [4,5], с которой рассматриваемая вершина АРС однозначно связана ($tv \in \{O, P, A\}$, где «O» – <Объекты>, «P» – <Свойства> и «A» <Действия>),

$brt = BV(v[id])$ – «яркость» вершины АРС – неотрицательное число, приписываемое вершине графа (см. требование к памяти системы Т.7.1: «Уровень активации должен быть величиной переменной» [6]).

Определение 2: $l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)}$ – ребро графа между вершинами $v[i]$ и $v[j]$, соответствующее роли в онтологии ($i, j \in ID_V, v[i] = v_{(i, tv, brt)}, v[j] = v_{(j, tv, brt)}$).

Примечание: ряд ролей допускает наличие обратных ролей, в этом случае в онтологии могут присутствовать противоположно ориентированные рёбра, что делает ассоциативную ресурсную сеть *двусторонней* [7];

$$tl = TL(l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)}), tl \in TypL,$$

где $TypL = \{type_l_1, type_l_2, \dots, type_l_N\}$, а $type_l_i$ – тип (имя) ребра, однозначно соответствующий роли, объединяющей два конкретных концепта, рассматриваемой онтологии [4,5];

$Nl = |TypL|$ – количество различных ролей, используемых при построении онтологии;

$dir = DL(l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)})$ – направление ребра относительно вершины, которая указана первой в описании ребра (для $l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)}$ – относительно $v[i]$), $dir \in \{in, out\}$, если $dir = in$, то ребро направлено из вершины указанной второй, в вершину указанную первой, если $dir = out$, то в обратном направлении;

Примечание. Параметр dir важен, так как для решения практических задач, основанных на распространении ресурса по APC, направление ребра может сказываться на результате такого распространения.

$cnt = CL(l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)})$ – переменная, указывающая на объем понятия, с которым связана вершина APC, из которой выходит ребро, $cnt \in \{all, some\}$, где *all* – «всякий», *some* – «некоторый» («некоторые»);

$r = RL(l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)})$ – пропускная способность (проводимость) ребра APC, соединяющего вершину $v[i]$ и $v[j]$; проводимость ребра сказывается на способности передавать «возбуждение» от вершины к вершине (от концепта к концепту).

Примечание. Поскольку в общем случае проводимость всех рёбер неодинакова, то ассоциативная ресурсная сеть *неоднородна*.

Введём функцию $l[tl, v[i], v[j]] = l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)}$, возвращающую по отличительным признакам ребра: $tl, v[i]$ и $v[j]$ всю информацию о ребре в структурированном виде.

Определение 3: Δbrt – количество ресурса, на которое увеличивается яркость вершины при обращении к ней (см. требование к памяти системы Т.7.3: «Яркость концепта в памяти должна возрастать при активации какого-либо ассоциированного с ним концепта или при непосредственной его активации» [6]).

Примечание. Увеличение количества ресурса (brt), находящегося в вершине APC, однозначно связанной с активируемым концептом, происходит при каждом обращении к концепту онтологии и зависит от типа обращения ($init$).

Классификация вариантов «возбуждения» ($init$) вершин APC приведена на рис. 3.

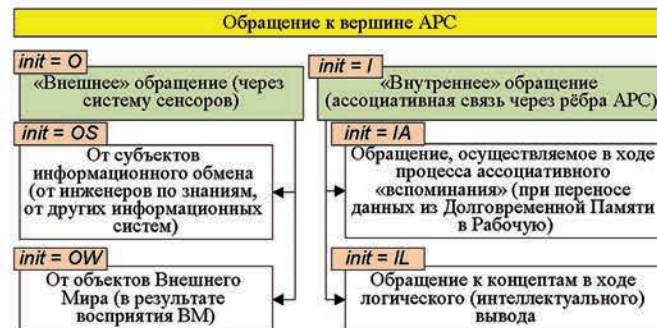


Рис.3. Классификация вариантов «возбуждения» вершин APC

Введём функцию, вычисляющую значение приращения яркости вершины при обращении к ней и зависящую от типа обращения: $\Delta brt = BRT(init)$, где $init \in \{OS, OW, IA, IL\}$.

Можно предположить, что наименьшее значение должно иметь приращение Δbrt при $init = IA$: $BRT(IA)$.

Приращения $BRT(OS)$ и $BRT(OW)$ в общем случае могут быть равнозначны, однако следует учесть, что степень доверия ИС к различным субъектам информационного обмена может быть различной, следовательно, можно предположить, что $BRT(OW) \geq BRT(OS)$.

Примечание: под «степенью доверия» интеллектуальной системы к произвольному субъекту информационного обмена здесь и далее следует понимать величину $tr(Sub)$, которая в свою очередь может функционально зависеть от убедительности доводов оцениваемого субъекта информационного обмена, от частоты подачи оцениваемым субъектом ложных и правдивых сведений и т.п.; $\Delta brt = BRT(OS)$ пропорционально степени доверия $tr(Sub)$. Очевидно, что приращение $BRT(IL)$ должно быть больше $BRT(IA)$ и меньше $BRT(OW)$.

Таким образом, частично упорядоченное множество приращений ресурса $\Delta brt = BRT(init)$ можно представить в виде решётки (рис. 4).

Пусть: $BRT(OW) = \Delta R$;

$BRT(IA) = Pa \Delta R$, где $Pa \in (0,1)$ – величина, характеризующая приращение ресурса в вершине при обращении к ней в результате ассоциативного распространения сигнала по APC (например: $Pa = 0,01$);

$BRT(OS) = tr(Sub) \Delta R$, где $tr(Sub) \in [Pa, 1]$ – коэффициент, характеризующий степень доверия системы субъекту информационного обмена Sub ;

$BRT(IL) = Lc \Delta R$, где $Lc \in (Pa, 1)$ (например: $Lc = 0,5$).

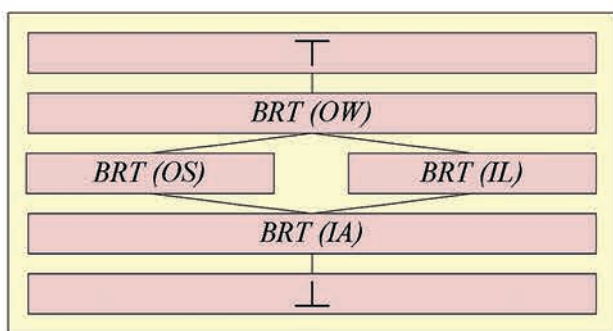


Рис. 4. Частично упорядоченное множество коэффициентов приращения ресурсов

Передача данных по ребру APC приводит к увеличению его пропускной способности. Вполне обоснованно можно предположить, что в общем случае величина Δr , на которую должна увеличиться пропускная способность конкретного ребра $l_{(u, v[i], v[j], dir, cnt, r)}$ APC при передаче по нему ассоциативного сигнала между вершинами $v[i]$ и $v[j]$, должна быть пропорциональна величине переданного сигнала.

Определение 4:

$\Delta r = THR\left(BRT(init), TL\left(l_{(u, v[i], v[j], dir, cnt, r)}\right), DL\left(l_{(u, v[i], v[j], dir, cnt, r)}\right)\right)$ – величина, на которую увеличивается пропускная способность ребра $l_{(u, v[i], v[j], dir, cnt, r)}$, в случае передачи по нему сигнала. Параметры $TL\left(l_{(u, v[i], v[j], dir, cnt, r)}\right)$ и

$DL\left(l_{(u, v[i], v[j], dir, cnt, r)}\right)$ вводятся в функцию $THR(\cdot)$ для того, чтобы в последующем, при необходимости, можно было более гибко управлять процессом изменения пропускной способности ребер APC при передаче по ним сигналов.

Таким образом, в ходе функционирования интеллектуальная система должна осуществлять изменение ассоциативной ресурсной сети путём изменения её структуры, значений ресурсов её вершин и проводимости рёбер. Все изменения ресурсной сети осуществляются только над активированной частью онтологии, т.е. над частью онтологии и однозначно соответствующей ей частью ассоциативной ресурсной сети, помещаемой в Рабочую Память (РП) системы, а конкретнее – в Эпизодический Буфер (требование Т.1.2.1: «Структурно память должна состоять из ограниченной области памяти с оперативным доступом» [6]).

Таким образом, возникает необходимость в решении задачи, связанной с выделением под воздействием запросов фрагмента онтологии и однозначно соответствующей ей части APC. Следует отметить, что запросы могут поступать как извне системы, так и формироваться самой системой в ходе решения ею возникающих перед ней задач.

Далее будет рассмотрен порядок определения помещаемого в РП фрагмента APC и связанного с ним фрагмента

онтологии при осуществлении запросов к данным, располагающимся в Долговременной Памяти системы. Объём информации, помещаемой в Рабочую память, зависит от порядка и глубины распространения активации (ресурса) по APC.

Модель распространения ассоциативного сигнала по APC. Пусть $v[i]$ – возбуждаемая вершина APC;

brt_{min} – минимальное количество ресурса, достаточное для перевода вершины в число активных вершин, информация о которых должна быть перемещена в Рабочую Память для дальнейшей обработки;

$k_{(v[i], v[j])}$ – коэффициент ослабления распространения ассоциативного сигнала по APC в направлении от вершины $v[i]$ к вершине $v[j]$:

$$k_{(v[i], v[j])} = \frac{RL\left(l_{(u, v[i], v[j], dir, cnt, r)}\right)}{BV\left(v_{(i, iv, brt)}\right)}. \quad (1)$$

Значение коэффициента ослабления распространения ассоциативного сигнала по APC мультипликативно увеличивается при прохождении ассоциативного сигнала по следующим друг за другом и имеющим общие концепты семантическим звеньям.

$$Sum_k_{v[j]} = Sum_k_{v[i]} \times k_{(v[i], v[j])}, \quad (2)$$

где $Sum_k_{v[j]}$ – переменная, указывающая на «затухание» сигнала, накопленное до инициирования вершины $v[j]$ (если вершина $v[i]$ является вершиной возбуждаемой непосредственно запросом, то $Sum_k_{v[j]} = 1$).

Количество «вспомненного» ресурса в вершине $v[j]$ предлагается рассчитывать согласно формуле (3):

$$brt' = BV\left(v_{(j, iv, brt)}\right) \times Sum_k_{v[j]}. \quad (3)$$

Если $brt' \geq brt_{min}$, то производится «вспоминание» вершины $v[j]$ и перенос информации о ней в РП – см. требование к памяти Т.7.2: «Чем выше уровень активации данных, тем выше должна быть их доступность (если уровень активации достаточно высок – выше определённого значения, то данные должны быть извлечены из памяти, в противном случае – нет)» [6]. Таким образом, чем больше «яркость» вершины, тем больше вероятность, что она «вспомнится» при возбуждении сопряжённой с ней вершины и информация о ней будет перемещена в РП (будет удерживаться в рамках Фокуса Внимания [6,8]).

Введение коэффициента ослабления распространения ассоциативного сигнала по APC в виде (1) позволяет реализовать такой механизм его распространения, при котором по умолчанию (при равенстве всех остальных параметров) распространение сигнала осуществляется глубже в направлении ребра с большей пропускной способностью, так как в его направлении осуществляется меньшее ослабление.

Очевидно, что в онтологии могут присутствовать концепты, у которых могут иметься две и более ролей, связывающих их с другими концептами. В этом случае сигнал от вершины, однозначно связанной с подобным концептом, по умолчанию должен распространяться по всем инцидентным рёбрам. В связи с этим введём аксиому (Аксиома 1): чем в большее количество рёбер расходится ресурс от иницированной вершины, тем меньше «глубина» его распространения.

$$k_{(v[i],v[j])} = \frac{RL(l_{(tl,v[i],v[j],dir, cnt, r)})}{BV(v_{(i,iv,bri)})} \times \frac{RL(l_{(tl,v[i],v[j],dir, cnt, r)})}{Sum_r}, \quad (4)$$

где Sum_r – суммарная пропускная способность рёбер, по которым должно осуществляться распространение активации. Если распространение активации предполагается осуществлять в направлении одного ребра, то $Sum_r = RL(l_{(tl,v[i],v[j],dir, cnt, r)})$, а следовательно

$$k_{(v[i],v[j])} = \frac{RL(l_{(tl,v[i],v[j],dir, cnt, r)})}{BV(v_{(i,iv,bri)})}, \text{ что соответствует отношению (1).}$$

В общем же случае $Sum_r = \sum_{j=1}^{All(v[i])} RL(l_{(tl,v[i],v[j],dir, cnt, r)})$.

Выбор того, по каким рёбрам должна осуществляться передача ассоциативного сигнала, а по каким нет, осуществляет Центральный Процессор Памяти (ЦПП) [6], который и направляет Фокус Внимания. Именно ЦПП в совокупности с предложенной организацией памяти киберсистемы [4–6] дают возможность осуществлять извлечение информации из памяти на основе накопленного опыта, логики и целей состоящих перед системой (см. Т.8.2 [6]). Также функции ЦПП могут способствовать подавлению «нежелательного» извлечения данных из памяти (Т.8.3 [6]).

На вход ЦПП могут поступать данные только из числа тех данных, которые находятся в Фокусе Внимания киберсистемы и эти данные должны быть представлены в формализованном структурированном виде. Предлагается информацию об инцидентных рёбрах конкретной вершины $v[i]$ представлять в виде структуры (5):

$$Descr(v[i]) = \langle All(v[i]), \vec{V}^{All_all_inf}(v[i]), Out(v[i]), \vec{V}^{Out_all_inf}(v[i]), In(v[i]), \vec{V}^{In_all_inf}(v[i]) \rangle, \quad (5)$$

где:

$All(v[i])$ – количество рёбер, инцидентных вершине $v[i]$; ($all_n = All(v[i])$);

$Out(v[i])$ – количество рёбер, исходящих из вершины $v[i]$; ($out_n = Out(v[i])$);

$In(v[i])$ – количество рёбер, входящих в вершину $v[i]$; ($in_n = In(v[i])$);

$$\vec{V}^{All_all_inf}(v[i]) = \left\langle DL(l_{(tl,v[i],v[1],dir, cnt, r)}), v[1], TL(l_{(tl,v[i],v[1],dir, cnt, r)}), CL(l_{(tl,v[i],v[1],dir, cnt, r)}), RL(l_{(tl,v[i],v[1],dir, cnt, r)}) \right\rangle,$$

$$\left\langle DL(l_{(tl,v[i],v[2],dir, cnt, r)}), v[2], TL(l_{(tl,v[i],v[2],dir, cnt, r)}), CL(l_{(tl,v[i],v[2],dir, cnt, r)}), RL(l_{(tl,v[i],v[2],dir, cnt, r)}) \right\rangle,$$

$$\left\langle DL(l_{(tl,v[i],v[n],dir, cnt, r)}), v[n], TL(l_{(tl,v[i],v[n],dir, cnt, r)}), CL(l_{(tl,v[i],v[n],dir, cnt, r)}), RL(l_{(tl,v[i],v[n],dir, cnt, r)}) \right\rangle.$$

$\vec{V}^{Out_all_inf}(v[i])$ и $\vec{V}^{In_all_inf}(v[i])$ будут иметь аналогичную структуру, а по содержанию они будут отличаться от $\vec{V}^{All_all_inf}(v[i])$ тем, что если в $\vec{V}^{All_all_inf}(v[i])$ первый параметр каждого из векторов может принимать произвольное значение ($dir \in \{in, out\}$), то в $\vec{V}^{Out_all_inf}(v[i])$ будет $dir = out$, а в $\vec{V}^{In_all_inf}(v[i])$ будет $dir = in$.

Вектора в структурах $\vec{V}^{All_all_inf}(v[i])$, $\vec{V}^{Out_all_inf}(v[i])$ и $\vec{V}^{In_all_inf}(v[i])$ упорядочиваются на основе значений пропускных способностей рёбер ($r = RL(l_{(tl,v[i],v[j],dir, cnt, r)})$).

Обосновано потребовать, чтобы ассоциативное воспоминание (распространение ресурса) по умолчанию происходило вначале через инцидентное активированной вершине ребро с наибольшей пропускной способностью до полного затухания (пока $bri' \geq bri_{min}$) и далее по другим рёбрам с меньшей пропускной способностью; если два ребра (или более), связанные с активированным концептом имеют одинаковую пропускную способность, то порядок распространения ресурса может определяться, например, лексикографическим порядком, установленным над именами вершин, с которыми данные рёбра связаны (таким образом обеспечивается выполнение требования к памяти системы Т.8.1.1: «Активация должна в наибольшей степени распространяться в сторону понятий, с которыми данные в наибольшей степени ассоциируются, и в наименьшей – в сторону отдалённых понятий» [6]).

С целью недопущения неконтролируемого самовозбуждения вершин АРС, необходимо чтобы Центральный Процессор Памяти, управляя Фокусом Внимания, пресекал обратное распространение сигнала по ребру, по которому сигнал уже проходил (в рамках одного акта возбуждения, исходящего или от объектов ВМ или от самой киберсистемы через ЦПП).

Пусть $Mass_BL = \{l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)}, l_{(tl, v[j], v[k], dir, cnt, r)} \dots\}$ – массив рёбер, по которым уже прошёл сигнал в рамках выполнения одного и того же запроса (в рамках одного акта возбуждения), а $BL_L(l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)}, Mass_BL)$ – функция, проверяющая на наличие указанного ребра и ему обратного того же вида в массиве $Mass_BL$, т.е. должно проверяться ребро $l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)}$ и ребро $l_{(tl, v[j], v[i], dir, cnt, r)}$, при этом должно быть $tl_1 = tl_2$. На выходе функция $BL_L(l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)}, Mass_BL)$ должна возвращать 1, если поданное на её вход ребро $l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)}$ имеется в массиве $Mass_BL$, и 0 – в противном случае.

Примечание: Массив $Mass_BL$ предлагается использовать в качестве аналога Эпизодического Буфера [6], так как в нем содержатся все «пройденные» ассоциативным сигналом семантические звенья [4] (семантическое звено – два концепта, связанных ролью). Умозаключения же могут осуществляться только над данными, находящимися в Фокусе Внимания киберсистемы. Исходя из этого, функция осуществления умозаключений на вход должна получать всё то, что находится в Фокусе Внимания, а в ФВ находятся данные, соответствующие данным из $Mass_BL$. Каждое добавление данных в $Mass_BL$ должно сопровождаться проверкой на предмет возможности осуществления умозаключения.

$ILogic(Mass_BL)$ – функция осуществления умозаключений над данными, находящимися в Фокусе Внимания.

Видится целесообразным дополнительно ввести коэффициент «натренированности» памяти mem , сказывающийся на способности системы держать в Фокусе Внимания большое количество информации – возбуждённых концептов.

Пусть:

$$M(mem, k_{(v[i], v[j])}) = mem + k_{(v[i], v[j])} (1 - mem), \quad (6)$$

где $mem \in [0, 1]$.

Несложно проверить, что если $mem = 1$ (что соответствует абсолютной памяти, т.е. максимально возможному её «усилению» до абсолютной памяти), то $M(mem, k_{(v[i], v[j])}) = 1$, а это приводит к переходу к следующей вершине APC без потерь. Такой же результат достигим только в том случае, если две вершины APC соединены ребром, пропускная способность которого равна количеству ресурса, находящемуся в инициированной запросом вершине (т.е. при $BV(v[i]) = RL(l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)})$). Данное утверждение вполне обосновано, так как в случае $BV(v[i]) = RL(l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)})$ концепт, связанный с вершиной $v[i]$, однозначно сопоставляется (ассоциирован) с

концептом, соответствующим вершине $v[j]$, а поэтому возбуждение вершины $v[j]$ происходит без потерь.

Таким образом, изменяя значение коэффициента mem , ЦПП может управлять глубиной распространения ассоциативного возбуждения, а точнее – увеличивать её.

Учитывая введённые отношения (4), (2) и (6):

$$k_{(v[i], v[j])} = \frac{RL(l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)})}{BV(v_{(i, iv, brt)})} \times \frac{RL(l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)})}{Sum_r},$$

$$Sum_k_{v[j]} = Sum_k_{v[i]} \times k_{(v[i], v[j])},$$

$$M(mem, k_{(v[i], v[j])}) = mem + k_{(v[i], v[j])} (1 - mem)$$

отношение расчёта коэффициента ослабления распространения ассоциативного сигнала по конкретному ребру $l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)}$ APC для вершины $v[j]$ можно представить в следующем виде (7):

$$Sum_k_{v[j]} = SUM_K \left(v[j], Sum_k_{v[i]}, mem, l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)}, Sum_r \right) =$$

$$= Sum_k_{v[i]} \times \left(mem + \frac{RL(l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)})}{BV(v_{(i, iv, brt)})} \times \frac{RL(l_{(tl, v[i], v[j], dir, cnt, r)})}{Sum_r} \times (1 - mem) \right). \quad (7)$$

Следует отметить, что любое обращение к онтологии сводится к обращению к определённому концепту (или к группе концептов), либо к его (их) добавлению в онтологию с соответствующими ролями. Обращение к концептам онтологии может провоцироваться Внешним Миром, т.е. в результате наблюдения, обучения (общения с другими системами, в том числе с Учителем), получения практического опыта и т.п., а может стать результатом интеллектуальной деятельности самой системы, т.е. обращение к концепту может быть осуществлено в ходе навигации по онтологии и манипулирования знаниями, представленными в ней. При этом следует помнить о том, что (Аксиома 2): любое обращение к онтологии ведёт к изменению параметров однозначно связанной с ней ассоциативной ресурсной сети.

Модель процессов «забывания» знаний. Процедура «забывания» может инициироваться в нескольких случаях:

– при достижении суммарной пропускной способности ребер APC (r_{sum}^{buf}), поднятых из долговременной памяти в эпизодический буфер, определённого порогового значения r_{MAX} ;

– при достижении суммарной яркости вершин графа APC (brt_{sum}^{buf}), перенесённых в Эпизодический Буфер, определённого порогового значения brt_{MAX} .

Результат выбора того или иного решающего правила непринципиален и сказывается в большей мере лишь на реализации правила в конкретной системе.

Пусть процедура «забывания» инициируется в случае $brt_{sum} = brt_{MAX}$ и состоит в пересчёте пропускных способностей всех рёбер АРС и яркостей её вершин. Для её реализации необходимо:

1. Рассчитать суммарную пропускную способность рёбер АРС:

$$r_{sum} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N RL(l_{(id, v[i], v[j], dir, cnt, r)}). \quad (8)$$

2. Рассчитать суммарную яркость вершин АРС:

$$brt_{sum} = \sum_{id=1}^N BV(v[id]). \quad (9)$$

3. Пересчитать пропускную способность для каждого из рёбер:

$$r = \frac{RL(l_{(id, v[i], v[j], dir, cnt, r)})}{r_{sum}} \times 10^{[\lg(r_{MAX})]-1}. \quad (10)$$

где $[\lg(r_{MAX})]$ – обозначает округление результата до большего целочисленного значения.

4. Пересчитать яркость каждой из вершин:

$$brt = \frac{BV(v[id])}{brt_{sum}} \times 10^{[\lg(brt_{MAX})]-1}. \quad (11)$$

С помощью предложенной перенормировки в сети происходит естественное забывание, что в свою очередь способствует выполнению требования Т.10 к памяти проектируемой системы [6].

Исходя из приведённых формул следует, что в случае, если за период между двумя последовательными перенормировками определённые концепты и роли их связывающие ни разу не затрагивались в ходе интеллектуальной деятельности системы, то пропускная способность рёбер и яркость вершин АРС, однозначно связанной с онтологией, уменьшается в 10 раз. Если некая связь между концептами была скорее случайной, чем закономерной, сила ассоциации между такими концептами со временем станет исчезающе малой, но сама связь не исчезнет вовсе (см. Аксиома 1). Очевидно, что те концепты и связи (роли) между ними, которые всё время подкрепляются, будут обладать наибольшими яркостями и пропускными способностями, а соответственно будут наиболее доступными при интеллектуальном поиске.

Выводы. Разработанная модель ассоциативной ресурсной сети, функционирующей параллельно с онтологией,

позволяет формализовать механизм направленного извлечения фрагментов ассоциативно связанных знаний из долговременной памяти интеллектуальной системы, призванной порождать спецификации процессов по нейтрализации деструктивных воздействий на объекты критической информационной инфраструктуры. Предложенная модель распространения ассоциативного сигнала по АРС способствует учёту контекстов при извлечении и интерпретации знаний, представленных в памяти киберсистемы, а также позволяет описать процесс «забывания» редко используемых и ложных знаний, путём снижения уровня их доступности. Полученные результаты в совокупности позволяют реализовать процедуру направленной обработки знаний интеллектуальной системой.

Литература

1. Жилиякова Л.Ю. Модель ассоциативной памяти, основанная на динамической ресурсной сети // Материалы конференции «Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах (УТЭОСС-2012)». СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор». 2012. С. 1160-1163.
2. Hebb D. Intelligence, brain and the theory of mind. Brain. 1959. Vol. 82. Pp. 138-145.
3. Жилиякова Л.Ю. Поиск в ассоциативной модели памяти // IX Международная конференция имени Т.А.Таран ИАИ-2009. Киев: Просвіта. 2009. С. 124-130.
4. Бирюков Д.Н., Ломако А.Г. Подход к построению систем информационной безопасности, способных синтезировать сценарии упреждающего поведения в информационном конфликте // Защита информации. INSIDE. 2014. № 6. С. 42-50.
5. Бирюков Д.Н., Ломако А.Г. Формализация семантики для представления знаний о поведении конфликтующих сторон // Материалы 22-й научно-практической конференции «Методы и технические средства обеспечения безопасности информации». СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2013. С. 8-11.
6. Бирюков Д.Н. Когнитивно-функциональная спецификация памяти для моделирования целенаправленного поведения киберсистем // Труды СПИИРАН. 2015. № 3(40). С. 55-76.
7. Кузнецов О.П., Жилиякова Л.Ю. Двусторонние ресурсные сети – новая потоковая модель // Доклады Академии Наук. 2010. Т. 433. № 5. С. 609-612.
8. Cowan N. Working memory capacity. Cognition & Emotion. 2005. Vol. 2. No. 2. Pp.145-154.

Для цитирования:

Бирюков Д.Н., Глухов А.П., Сабиров Т.Р., Пилькевич С.В. Модель изменения доступности знаний, представленных в памяти киберсистемы, обеспечивающей нейтрализацию деструктивных воздействий на объекты критической информационной инфраструктуры // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 4. С. 56–63.

MODEL OF CHANGE ACCESSIBLE KNOWLEDGE, IN-MEMORY REPRESENTATION CYBERSYSTEMS TO NEUTRALIZE THE DESTRUCTIVE EFFECTS ON CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE OBJECTS

Biryukov Denis Nikolaevich,

St. Petersburg, Russia, biryukov.d.n@yandex.ru

Gluhov Aleksandr Petrovich,

St. Petersburg, Russia, gie76@yandex.ru

Sabirov Timur Rimovich,

St. Petersburg, Russia, rowing-team@mail.ru

Pilkevich Sergey Vladimirovich,

St. Petersburg, Russia, ambers@list.ru

Abstract

The article is devoted to the issue date of expediting the processing of large data array. The data is presented in memory of cyber systems that are intelligent and involved in the process to ensure the information security of critical facilities. Operation data mining mechanisms based on the use of knowledge bases, accumulating knowledge about the subject area of interest within the framework of tasks. The explosive nature of the growth in knowledge raises the problem of limiting the amount of data, at the same time the in-processing. Thus, the updated task of changing the availability of knowledge, presented in memory cybersystems providing information security of critical information infrastructure. Attention is drawn to the dynamic nature of the problem, and the fact that similar processes associated with information processing characteristic of the functioning of a constructive mindset and cognitive abilities. It is assumed that the knowledge represented in memory as a set cybersystems partially ordered concepts incorporated within the domain ontology. At the same time updating the knowledge base possible, but by heterogeneous hardware and software modules (sensors) that monitor the outside world, and a team of operators, raising critical information for tasks manually. To change the access to knowledge stored in memory cybersystems providing information security of critical information infrastructure, it is proposed to use the model developed by the association's resource network operates in parallel with the ontology model and spread it on the associative signal. Described model allows to take into account the intensity of the receipt and processing of information (requests), as well as processes of "forgetting" knowledge. The proposed distribution model associative signal associative resource network contributes accounting context when retrieving and interpreting the knowledge presented in memory cybersys-

tems. The totality of these approaches make it possible to realize the knowledge ranking procedure in the memory system according to their level of availability is directly dependent on their relevance, testing and confirmed.

Keywords: associative network resource; associative signal; intelligent system; memory; ontology.

References

1. Zhilyakova L.Yu. Model' associativnoj pamyati, osnovannaya na dinamicheskoy resursnoj seti [The model of associative memory based on a dynamic resource network]. St. Petersburg, SSC RF JSC "Concern "CRI "Electropribor", 2012. Pp. 1160-1163. (In Russian).
2. Hebb D. Intelligence, brain and the theory of mind. Brain. 1959. Vol. 82. Pp. 138-145.
3. Zhilyakova L.Yu. Poisk v associativnoj modeli pamyati [Search in associative memory models]. Kiev, Education, 2009. Pp. 124-130. (In Russian).
4. Biryukov D.N., Lomako A.G. The approach to construction of information security systems that are capable of synthesizing scenarios of anticipatory behavior in information conflict. Information security. INSIDE. 2014. No. 6. Pp. 42-50. (In Russian).
5. Biryukov D.N., Lomako A.G. Formalizaciya semantiki dlya predstavleniya znanij o povedenii konfliktuyushchih storon [Formalization of semantics for representation of knowledge about the behavior of the conflicting parties]. St. Petersburg, Polytechnic University Publ., 2013. Pp. 8-11. (In Russian).
6. Biryukov D.N. Cognitive-functional specification memory for modeling the purposeful behavior of cyber systems. Proceedings of SPIRAS. 2015. No. 3(40). Pp. 55-76. (In Russian).
7. Kuznetsov O.P., Zhilyakova L.Yu. Dvustoronnie resursnye seti – novaya potokovaya model' [Bidirectional resource networks: a new flow model]. Reports Of Academy Of Sciences. 2010. Vol. 433. No 5. Pp. 609-612. (In Russian).
8. Cowan N. Working memory capacity. Cognition & Emotion. 2005. Vol. 2. No. 2. Pp.145–154.

Information about authors:

Biryukov D.N., Ph.D, professor in Department of Systems for collecting and processing information, Military Space Academy; Gluhov A.P., Ph.D., head of Department of Information security, JSC «RZhD»;

Sabirov T.R., postgraduate student of Department of Systems for collecting and processing information, Military Space Academy;

Pilkevich S.V., Ph.D., doctoral student, Military Space Academy.

For citation:

Biryukov D.N., Gluhov A.P., Sabirov T.R., Pilkevich S.V. Model of change accessible knowledge, in-memory representation cybersystems to neutralize the destructive effects on critical information infrastructure objects. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 56–63. (In Russian).

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ТОПОЛОГИЕЙ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ С ЦЕЛЬЮ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НЕКОНТРОЛИРУЕМОГО ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ МЕЖДУ УЗЛАМИ

Гнидко

Константин Олегович,

к.т.н, докторант Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, greeny598@gmail.com

Ключевые слова:

информационно-психологическая безопасность; социальные сети; средства массовой коммуникации; топология графа; информационная контаминация; эпидемиология; собственные числа матрицы.

АННОТАЦИЯ

Смещение военных опасностей и угроз в информационное пространство и внутреннюю сферу Российской Федерации, деятельность различных деструктивных сил по информационному воздействию на население, в первую очередь на молодых граждан страны, в том числе с целью подрыва исторических, духовных и патриотических традиций в области защиты Отечества, повсеместное внедрение информационных технологий с одной стороны и несовершенство методов контроля контаминации (заражения) среды массовых коммуникаций негативным информационным контентом с другой стороны обуславливают необходимость разработки технических методов и средств предотвращения воздействия на индивидуальное, групповое и массовое сознание населения Российской Федерации потенциально вредоносной информации. Целью проведенного исследования являлось снижение риска негативного информационного воздействия на сознание субъектов средств массовой коммуникации на территории России. Предметом исследования являются методы управления скоростью распространения информации в социальных сетях и других сетевых структурах. В основе разработанного метода целенаправленной модификации топологии графа социальной сети лежат выявленные исследователями в области эпидемиологии зависимости, позволяющие вычислять ключевые параметры, определяющие возможность неконтролируемого эпидемиологического распространения инфекции в биологических системах. Основными полученными результатами являются алгоритмы удаления и добавления квазиоптимального подмножества ребер графа на основе вычисления максимального по модулю собственного числа матрицы связности графа. Преимуществом разработанных алгоритмов перед известными аналогами является их относительно низкая вычислительная и временная сложность, что позволяет применять их для анализа больших графов, представляющих связи подмножества реальных пользователей социальных сетей и других участников массовой коммуникации. Практическая значимость разработанных алгоритмов для информационной безопасности Российской Федерации заключается в возможности их применения для коррекции топологии сетей массовой коммуникации с целью недопущения неконтролируемого («эпидемиологического») распространения потенциально опасной информации в ходе реализации сценариев «цветных революций» и иных форм информационного противоборства. Альтернативным вариантом применения алгоритма добавления узлов является ускорение распространения контр-пропаганды в защищаемом информационном пространстве в целях «иммунизации» ключевых информационных узлов на своей территории.

Возможности науки и техники в настоящее время позволяют создавать средства и методы для информационного воздействия на индивидуальное, групповое и массовое сознание граждан РФ. Действующая Военная доктрина Российской Федерации подчеркивает тенденцию смещения военных опасностей и военных угроз в информационное пространство и внутреннюю сферу Российской Федерации, а также указывает на одну из главных внутренних военных опасностей: деятельность по информационному воздействию на население, в первую очередь на молодых граждан страны, имеющую целью подрыв исторических, духовных и патриотических традиций в области защиты Отечества [1]. Геополитические события последних лет, в частности череда «арабских революций», а также конфликт на Украине однозначно дают понять, что технологии воздействия на сознание окончательно вышли за пределы психологических лабораторий и стали неотъемлемой частью окружающей реальности. Сложно переоценить опасность, которую несет применение подобных технологий против Российской Федерации. Разработка эффективных мер противодействия технологиям манипулирования групповым и массовым сознанием требует всестороннего исследования факторов, которые делают такое манипулирование возможным. Особый интерес вызывают вопросы контроля распространения потенциально вредоносной информации в реальных социальных группах и виртуальных сетевых сообществах, а также методы и алгоритмы управления скоростью распространения такой информации.

Управление скоростью распространения информации в системе, представленной большим графом, представляет собой сложную проблему, решение которой требует обращения ко многим областям знания. В общем случае рассматриваемая информационная сущность может иметь совершенно различную природу. Это может быть компьютерный или биологический вирус, интернет-мем, слух, идея или новый потребительский товар. На характер распространения данной сущности по графу может оказывать влияние как топология графа, так и совокупность свойств самой сущности: ее «живучесть», «заразность» (скорость передачи от узла к узлу), способность к самовоспроизводству и так далее. Известны исследования в области эпидемиологии [2–4], главным результатом которых является следующая выявленная закономерность: распространение эпидемии в биологической системе экспоненциально затухает, если выполняется неравенство:

$$\frac{\beta}{\sigma} < \frac{1}{\lambda}, \quad (1)$$

где β – коэффициент заражения, σ – коэффициент излечения, λ – максимальное по модулю собственное число матрицы смежности графа системы.

В настоящей работе делается акцент на исследовании топологии графа, исходя из допущения, что на свойства распространяющейся сущности («информационного вируса») непосредственно повлиять невозможно. Таким образом, решение рассматриваемой задачи сводится к поиску ответа на

вопрос: каким образом, изменяя топологию графа, можно управлять распространением информации в системе. В такой постановке задачу можно разделить на две подзадачи.

Первая из них – снижение скорости распространения информации в системе за счет удаления заданного количества ребер графа. Рассмотрим в качестве примера распространение вредоносной информации через социальную сеть (Twitter, Facebook, Вконтакте, и т. п.). Удаление узлов (аккаунтов пользователей) социальной сети в такой ситуации нежелательно и не всегда допустимо, в то время как удаление ребер графа (принудительный разрыв «дружбы» между пользователями) может быть приемлемым решением. Выражаясь более формально, для того, чтобы локализовать аккаунты пользователей, распространяющих вредоносную информацию, и сдержать ее распространение, администратор сети может удалить k ребер графа.

Вторая задача противоположна первой и связана с обеспечением возможности быстрого и максимально широкого распространения информации в системе за счет добавления дополнительных ребер. Мы можем продолжить аналогию социальной сети и вспомнить события на Ближнем Востоке («арабская весна» или «твиттер-революция»), в ходе которых социальные сети Facebook и Twitter активно применялись для координации действий протестантов. Необходимо подчеркнуть, что дополнительным ключевым требованием при решении обеих подзадач является их вычислительная эффективность: решение должно быть применимо к большим графам сложной структуры. Сложность обеих задач обусловлена несколько отличными причинами. Для проблемы сокращения связности графа большинство существующих методов предлагают решения, основанные на манипуляциях с узлами, например удалении подмножества узлов графа для минимизации инфицированной популяции и сдерживания, таким образом, распространения вируса. В приведенном выше примере социального спама это означает, что нам, возможно, пришлось бы заблокировать большое число аккаунтов лояльных пользователей. Этой нежелательной процедуры можно избежать, действуя более избирательно: удалив только некоторые связи между пользователями, чтобы достичь снижения скорости распространения нежелательной (дезинформирующей и дезорганизирующей) информации.

Проблема «склеивания» графа представляется еще более сложной в связи с ее высокой временной сложностью. Пусть n – количество узлов в графе. Поскольку многие графы, представляющие структуру реальных объектов, являются весьма разреженными, то количество отсутствующих ребер может быть сопоставимо с n^2 . Другими словами, если требуется n добавить к графу всего одно ребро, вычислительная сложность решения может быть оценена как $O(n^2)$. Данное обстоятельство приводит к комбинаторному взрыву вычислительной сложности искомого решения, если требуется добавить не одно, а несколько ребер. Пространство решений в этом случае становится экспоненциальным. К настоящему времени не найдены эффективные алгоритмы для решения проблемы «склеивания» больших графов.

В настоящей работе предлагается решение задачи управления распространением информации по графу за счет удаления (добавления) квазиоптимального набора ребер на основе вычисления собственных чисел и собственных векторов матрицы смежности графа.

Формальная постановка задачи. Для упрощения построения модели будем рассматривать невзвешенные графы, хотя разработанные алгоритмы могут быть без ограничения общности модифицированы для взвешенных графов. Рассматриваемые графы представлены матрицей смежности. В табл. 1 перечислены основные используемые символы.

Таблица 1
Основные символы, используемые в работе

Символ	Описание
A, B, \dots	матрицы (прописные буквы латинского алфавита)
$A(i, j)$	элемент на пересечении i -й строки и j -го столбца матрицы A
a, b, \dots	векторы (строчные буквы латинского алфавита)
$\mathcal{I}, \mathcal{J}, \dots$	множества
λ	максимальное (по модулю) собственное число матрицы A
n	количество вершин (узлов) графа
u, v	левый и правый собственные векторы (длины n) матрицы A , соответствующие собственному числу λ
m	количество ребер графа
k	количество ребер, которые могут быть удалены из графа или добавлены в граф

При осуществлении сравнительного анализа двух возможных подходов (удаление вершин и удаление ребер) к решению задачи снижения скорости распространения информации на графе, полезно ввести понятие линейного графа, узлы которого представляют ребра исходного графа. Дадим формальное определение линейного графа:

Пусть дан направленный граф A . Его линейным графом $L(A)$ будем называть такой граф, в котором каждая вершина представляет ребро исходного графа A , при этом вершины e_p и e_q графа $L(A)$ связаны между собой ребром тогда и только тогда, если для соответствующих ребер $\langle i_p, j_p \rangle$ и $\langle i_q, j_q \rangle$ исходного графа A верно равенство: $i_q = j_p$.

В целях выбора эффективной процедуры изменения структуры графа для оказания целенаправленного воздействия на процесс распространения информации, необходимо решить следующие задачи:

1. Определить ключевые параметры (метрики) графа, определяющие скорость распространения информации.
2. Определить типы операций (например, удаление узлов или ребер, добавление узлов или ребер и т. д.), допустимые для изменения структуры графа в целях воздействия на процесс распространения информации.

Для заданной операции на графе разработать эффективные масштабируемые алгоритмы для оптимизации заданных параметров графа.

Результаты исследований, приведенные в источниках [3; 5], показывают что для большого семейства реальных систем в природе, из всех возможных параметров единственным, определяющим, примет ли процесс распространения инфекции характер неконтролируемой эпидемии, является максимальное (по модулю) собственное число матрицы связности графа A . Данные результаты сами по себе предлагают общую концепцию управления скоростью распространения информации по графу посредством увеличения или уменьшения собственного числа матрицы связности.

Таким образом, исходная постановка задачи может быть сведена к проблеме оптимизации собственного числа матрицы связности:

Минимизация главного собственного числа λ для алгоритма удаления ребер (замедление распространения информации).

Максимизация главного собственного числа λ для алгоритма добавления ребер (увеличение скорости распространения информации).

С учетом введенных выше обозначений, рассматриваемые нами задачи могут быть формально определены как следующие две подзадачи:

Подзадача 1. Удаление ребер.

Дано: Большой граф A размерности $n \times n$ и натуральное число k — лимит ребер для удаления;

Найти: Набор k ребер графа A , удаление которых приведет к максимальному уменьшению собственного числа матрицы связности графа A и снижению скорости распространения информации.

Подзадача 2. Добавление ребер

Дано: Большой граф A размерности $n \times n$ и натуральное число k — лимит ребер для добавления;

Найти: Набор k ребер, добавление которых к графу A приведет к максимальному увеличению собственного числа матрицы связности графа A и увеличению скорости распространения информации.

Как будет показано ниже, обе подзадачи носят комбинаторный характер.

Алгоритм удаления ребер графа.

Задача удаления ребер графа сводится к следующему: необходимо найти и удалить набор k наиболее «важных» с точки зрения передачи информации ребер графа A . С учетом введенного определения линейного графа $L(A)$, «важные» ребра графа A становятся узлами графа $L(A)$.

Подход к решению подзадачи 1 основан на оценивании уменьшения максимального по модулю собственного значения матрицы связности в результате удаления определенного подмножества ребер. «Наивное» решение заключается в переборе всех возможных подмножеств ребер и вычисле-

нии собственного числа матрицы A каждый раз после удаления соответствующего поднабора, поскольку вклад удаления набора ребер графа в уменьшение собственного числа матрицы связности несводим к сумме вкладов удаления отдельных ребер. Очевидно, что данный «наивный» вариант неприемлем для больших графов, поскольку временная сложность в этом случае составляет $O(m)$ для каждого из

$$C_m^k = \frac{m!}{k!(m-k)!} \text{ подмножеств ребер.}$$

Пусть u и v – левый и правый собственные векторы, соответствующие максимальному по модулю собственному числу матрицы связности, соответственно. Интуитивно понятно, что компоненты данных векторов ($u(i)$ и $v(j)$, $i, j = 1, \dots, n$) неявным образом отражают вклад соответствующих узлов (i, j) графа в максимальное собственное число. Идея предлагаемого алгоритма определения квазиоптимального набора ребер для удаления заключается в оценивании вклада каждого из ребер в результирующее собственное число матрицы связности на основе вычисления произведения компонент левого и правого собственных векторов для всех ребер графа (рис. 1).

Алгоритм удаления ребер

Вход : матрица связности A , количество удаляемых ребер k
Выход: подмножество $\{E\}_k$ удаляемых ребер графа

1. Вычислить главное собственное число λ матрицы A .
2. Обозначить левый и правый собственные векторы u и v
3. Если $\min_{i=1, \dots, n} u(i) < 0$ то
4. | присвоить $u \leftarrow -u$
5. **конец**
6. Если $\min_{i=1, \dots, n} v(i) < 0$ то
7. | присвоить $v \leftarrow -v$
8. **конец**
9. Для каждого $e_x : (i_x, j_x) \in E, i_x = 1, \dots, m; j_x = 1, \dots, n$ делать
10. | оценка $S(e_x) = u(i_x) \times v(j_x)$
11. **конец**
12. **Возвратить** $\{E\}_k$ ребер графа с максимальными значениями оценки $S(e_x)$

Рис. 1. Алгоритм поиска подмножества k ребер графа для удаления в целях замедления распространения информации

Проведенный анализ показал, что изложенный алгоритм позволяет получить весьма точную оценку реального уменьшения собственного числа матрицы связности, что существенно сокращает вычислительную сложность определения k наиболее важных ребер. Временная сложность в этом случае может быть оценена как $O(mk + n)$, а емкостная – $O(n + m + k)$ (детальное обоснование полученных оценок вычислительной сложности опущено для краткости).

Алгоритм добавления ребер графа. Рассмотрим теперь подзадачу 2 (добавление набора ребер для увеличения скорости распространения информации по графу). Теоретически мы могли бы использовать тот же подход, что и при удалении ребер (для каждой пары узлов, не связанных ребром, вычислить оценку $S(e_x) = u(i_x)v(j_x)$ и выбрать k ребер с наивысшими полученными оценками). Однако большое количество реальных графов могут быть представлены сильно разреженной матрицей смежности, для

которой $m \ll n^2$. В этом случае вычислительная сложность для обработки всех не существующих ребер графа пропорциональна квадрату количества его узлов $O(n^2 - m) \approx O(n^2)$, что неприемлемо для практического анализа больших графов. Предлагаемый нами алгоритм добавления ребер исключает из рассмотрения значительную часть несуществующих ребер на основе предварительного анализа компонент собственных векторов u_i и v_j (рис. 2).

Алгоритм добавления ребер

Вход : матрица связности A , количество добавляемых ребер k
Выход: подмножество $\{E\}_k$ добавленных ребер графа

1. Вычислить левый (u) и правый (v) собственные векторы матрицы A , соответствующие максимальному собственному числу ($u, v \geq 0$)
2. Вычислить максимальное значение входной мощности (d_{in}) и выходной мощности (d_{out}) узла для матрицы A
3. Найти подмножество $\{T\}_{k+d_{in}}$ узлов, соответствующих максимальным значениям компонент вектора u .
4. Найти подмножество $\{J\}_{k+d_{out}}$ узлов, соответствующих максимальным значениям компонент вектора v .
5. Для каждого $e_x : (i_x, j_x), i_x \in T, j_x \in J, A(i_x, j_x) = 0$ делать
6. | Оценка $S(e_x) = u(i_x)v(j_x)$
7. **конец**
8. **Возвратить** $\{E\}_k$ ребер графа с максимальными значениями оценки $S(e_x)$.

Рис. 2. Алгоритм поиска подмножества k ребер графа для добавления в целях увеличения скорости распространения информации

В качестве примера рассмотрим два графа, первый из которых является представлением связей «читатель – подписчик» подмножества пользователей социальной сети Twitter (рис. 3), а второй представляет связи персонажей романа «Отверженные» В.Гюго (рис. 4).

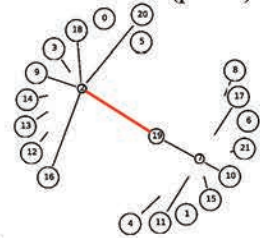


Рис.3. Граф связей «читатель – подписчик» подмножества пользователей социальной сети Twitter

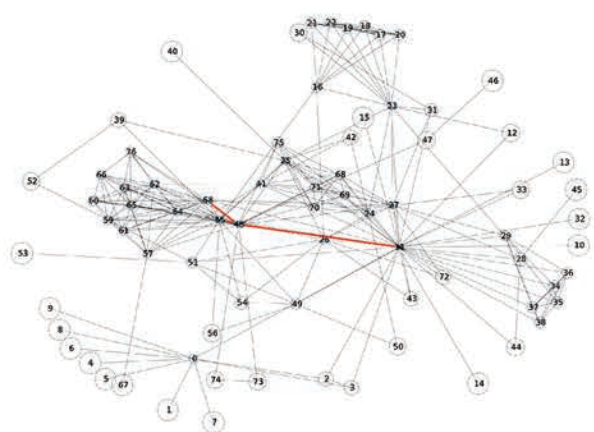


Рис.4. Граф связей персонажей романа «Отверженные»

Интуитивно понятно, что для графа, представленного на рисунке 3 (22 узла, 21 ребро) наиболее важным в смысле передачи потенциально опасной информации является

ребро, соединяющее узлы №№2 и 19. Удаление этого «моста» между кластерами существенно влияет на скорость распространения «инфекции» по графу и вероятность заражения других узлов. Однако уже для графа, представленного на рисунке 4, чья размерность составляет 77 узлов и 254 ребра, решение не представляется таким очевидным.

Результаты расчетов, выполненные на основе разработанного алгоритма удаления ребер для графа связей «читатель – подписчик» пользователей социальной сети Twitter при $k = 5$, приведены в табл. 2. Результаты отсортированы в порядке убывания оценки $S(e_x)$.

Таблица 2

Результаты применения алгоритма удаления ребер к графу пользователей сети Twitter.

Ребро	$u(i_x)$	$v(j_x)$	$S(e_x) = u(i_x) \times v(j_x)$
(2, 19)	0,642	0,298	0,191
(2, 18)	0,642	0,189	0,121
(2, 3)	0,642	0,189	0,121
(2, 5)	0,642	0,189	0,121
(2, 9)	0,642	0,189	0,121

Как видно из таблицы 1, максимальная оценка $S(e_x)$ присвоена ребру (2–19), что вполне согласуется с нашими интуитивными представлениями. Результат расчета для графа связей персонажей романа «Отверженные» представлен в табл. 3.

Таблица 3

Результаты применения алгоритма удаления ребер к графу связей персонажей романа «Отверженные»

Ребро	Соответствие ребер именам	$u(i_x)$	$v(j_x)$	$S(e_x) = u(i_x) \times v(j_x)$
(48, 11)	Гаврош – Жан Вальжан	0,268	0,318	0,085
(48, 58)	Гаврош – Анжольрас	0,318	0,267	0,085
(48, 55)	Гаврош – Мариус	0,318	0,259	0,082
(48, 64)	Гаврош – Боссюэ	0,318	0,242	0,077
(48, 62)	Гаврош – Курфейрак	0,318	0,232	0,074

Примечательным является тот факт, что общим узлом для всех пяти ребер передачи информации, получивших наивысшие оценки, является мальчик-беспризорник Гаврош. На втором конце всех перечисленных ребер находятся революционеры – защитники баррикад. Данное обстоятельство полностью согласуется с теорией многоступенчатой коммуникации и подтверждает тезис о том, что маргиналы (люди, находящиеся на границах социальных групп и

мало взаимодействующие со своими группами) служат информационными «мостиками» между группами [6]. Информация, идущая от «центральных» членов групп обладает большей точностью и пользуется большим доверием. Маргиналы, как правило, распространяют сплетни. Точность и доверие невелики, но скорость распространения передаваемых маргиналами слухов – высокая. Полученные результаты также подтверждают теорию прочности слабых связей Грановеттера [7], согласно межгрупповые «мостики» состоят преимущественно из слабых связей и могут продержаться гораздо дольше, чем «мостики», состоящие из крепких связей. Маргиналы имеют тенденцию именно к слабым связям, то есть полностью соответствуют функции, отводимой им многоступенчатой моделью коммуникации.

Таким образом, разработанные алгоритмы позволяют находить квазиоптимальный набор ребер для целенаправленного изменения топологии графов в интересах ускорения или замедления распространения информации. Преимуществом представленных в работе алгоритмов перед известными аналогами является их относительно низкая вычислительная и временная сложность, что позволяет применять их для анализа больших графов. Полученные алгоритмы программно реализованы на функционально ориентированном кросс-платформенном языке программирования Python и апробированы в ходе экспериментальных исследований. Практическая значимость разработанных алгоритмов и программных компонентов для информационной безопасности Российской Федерации заключается в возможности их использования для текущего анализа реальных графов, таких как графы связей пользователей социальных сетей, и осуществления коррекции топологии этих графов с целью недопущения неконтролируемого («эпидемиологического») распространения потенциально опасной информации в ходе реализации сценариев «цветных революций» и иных форм информационной борьбы. Альтернативным вариантом применения алгоритма добавления узлов является ускорение распространения контрпропаганды в информационном пространстве противника, а также в целях «иммунизации» ключевых информационных узлов на своей территории.

Литература

1. Указ Президента РФ от 25 декабря 2014 г. № Пр-2976 «О Военной доктрине Российской Федерации». URL: <http://www.news.kremlin.ru/media/events/files/41d527556bec8deb3530.pdf> (дата обращения: 12.07.2016).
2. Hethcote H.W. The Mathematics of Infectious Diseases // SIAM Review. 2000. Vol. 42. No. 4. Pp. 599-653.
3. Wang Y., Chakrabarti D., Wang C., Faloutsos C. Epidemic spreading in real networks: An eigenvalue viewpoint // SRDS, 2003. Pp. 25-34.
4. Ganesh A., Massoulié L., Towsley D. The effect of network topology on the spread of epidemics // IEEE. 2005. Vol. 2. Pp. 1455-1466.
5. Prakash B., Chakrabarti D., Faloutsos M., Valler N., Faloutsos C. Threshold conditions for arbitrary cascade models on

arbitrary networks // Knowledge and Information Systems. 2012. Vol. 33. No. 3. Pp. 549–575.

6. Weimann G. On the importance of marginality: One more step into the two-step flow of communication // American Sociological Review. 1982. Pp. 764–773.

7. Granovetter M.S. The strength of weak ties // American Journal of Sociology. 1973. Vol. 78. No 6. Pp. 1360–1380.

Для цитирования:

Гнидко К.О. Метод управления топологией социальной сети с целью предотвращения неконтролируемого эпидемиологического распространения информации между узлами // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 4. С. 64–69.

METHOD OF SOCIAL NETWORK TOPOLOGY MANAGEMENT IN ORDER TO PREVENT UNCONTROLLED EPIDEMIOLOGICAL DISSEMINATION OF INFORMATION BETWEEN NODES

Gnidko Konstantin Olegovich,
St-Petersburg, Russia, greeny598@gmail.com

Abstract

The displacement of military dangers and military threats to information space and the inner sphere of the Russian Federation, activities of various destructive forces with the goal of the information impact on the population of Russia, especially young citizens, including those with the aim of undermining the historical, spiritual and patriotic traditions in the area defending the Fatherland, the widespread introduction of information technologies on the one hand and imperfection of methods of control of contamination (infection) of mass communication media with negative information on the other hand necessitate the development of technical methods and means to prevent the harmful impact of potentially harmful information on individual, group and mass consciousness of the population of Russian Federation. The goal of the research fulfilled was to reduce the risk of negative information influence on the minds of the subjects of the mass media communications in Russia. The subject of the research are the methods of information dissemination management in social networks and other network structures. The proposed method of purposeful modification of the graph topology of social network is mainly based on the results obtained by researchers in the field of epidemiology which allow to calculate the key parameters that determine the possibility of an uncontrolled epidemic spread of the infection in biological systems. The main results obtained are algorithms for removing and adding quasi-optimal subset of graph edges based on the calculation of the maximum eigenvalue of its adjacency matrix. The advantage of the developed algorithms over the known analogues is their relatively low computational and time complexity that allows their use for the analysis of large graphs that represent certain subset of connections of the actual social network users and other participants in the mass media sphere. Practical significance for informational security of Russian Federation of the algorithms developed

is their possible application for correction of mass communication network topology in order to prevent uncontrolled («epidemiological») spread of potentially dangerous information in the course of «color revolutions» scenario and during other forms of informational warfare. An optional application of the graph gelling algorithm is facilitating of counter-propaganda spread in the protected information space in order to «immunize» the key information nodes on the own territory.

Keywords: Information and psychological security, social networks, mass communications, graph topology, contamination of information, epidemiology, eigenvalues.

References

1. Ukaz Prezidenta RF ot 25 dekabrya 2014. № Pr-2976 «O Voennoy doktrine Rossiyskoy Federatsii». [Decree of the President of the Russian Federation № 2976 «About the Military Doctrine of the Russian Federation» approved on 25 December 2014]. URL: <http://www.news.kremlin.ru/media/events/files/41d527556b-ec8deb3530.pdf> (date of access 12.07.2016). (In Russian).
2. Hethcote H.W. The Mathematics of Infectious Diseases. SIAM Review. 2000. Vol. 42. No. 4. Pp. 599–653.
3. Wang Y., Chakrabarti D., Wang C., Faloutsos C. Epidemic spreading in real networks: An eigenvalue viewpoint. SRDS, 2003. Pp. 25–34.
4. Ganesh A., Massoulié L., Towsley D. The effect of network topology on the spread of epidemics. IEEE. 2005. Vol. 2. Pp. 1455–1466.
5. Prakash B., Chakrabarti D., Faloutsos M., Valler N., Faloutsos C. Threshold conditions for arbitrary cascade models on arbitrary networks. Knowledge and Information Systems. 2012. Vol. 33. No. 3. Pp. 549–575.
6. Weimann G. On the importance of marginality: One more step into the two-step flow of communication. American Sociological Review. 1982. Pp. 764–773.
7. Granovetter M.S. The strength of weak ties. American Journal of Sociology. 1973. Vol. 78. No 6. Pp. 1360–1380.

Information about authors:

Gnidko K.O., Ph.D., doctoral student, Military Space Academy.

For citation:

Gnidko K.O. Method of social network topology management in order to prevent uncontrolled epidemiological dissemination of information between nodes. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 64–69. (In Russian).

TRAFFIC FLOW MANAGEMENT MODEL IN SOFTWARE-DEFINED NETWORKS WITH UNEQUAL LOAD METRIC

Krasov

Andrey Vladimirovich,

*Ph.D., docent, chief of the SPSUT
department of Secured Communication,
St. Petersburg State University
of Telecommunications,
St. Petersburg, Russia,
krasov@pisem.net*

Levin

Mark Vadimovich,

*Assistant on the SPSUT department of
Secured Communication, St. Petersburg
State University of Telecommunications,
St. Petersburg, Russia,
m.va.levin@gmail.com*

Shterenberg

Stanislav Igorevich,

*Assistant on the SPSUT department of
Secured Communication, St. Petersburg
State University of Telecommunications,
St. Petersburg, Russia,
shterenberg.stanislav@yandex.ru*

Isachenkov

Pavel Andreevich,

*Master's student on the SPSUT de-partment
of Secured Communication, St. Petersburg
State University of Telecommunications,
St. Petersburg, Russia,
pais@tutamail.de*

Keywords: *software-defined networks;
load; traffic management; resiliency;
availability; metric; routing.*

ABSTRACT

In this work the traffic management model, based on the telecommunication load is studied. This method can be applied to the IP-based software defined networks. EIGRP routing protocol algorithms were studied as well. The dependence of EIGRP path metric on changing load in modeled IP network was plotted using Mat-Lab. Found results showed that the default behavior of EIGRP protocol in relation to the calculated metrics with the load taken into account, in the event that this option is activated, is unstable and probabilistic in nature and leads to a state where the EIGRP route metrics are constantly recalculated, resulting in a random rerouting and loss of control over the management of IP network, which in turn leads to a denial of service and disruption of an availability of information, which is one of the main elements of information security. To prevent such behavior it is suggested to use modified EIGRP routing model – to carry out on to the separate device, the controller, a method of traffic management, which on a centralized basis collects information on the active load on the device interfaces. To process the information obtained from the devices, controller uses the algorithm which in turn allows considering not absolute, but relative change of load on the interfaces on the network devices. Within the described algorithm it is offered to used different values of coefficients, which, when changed, can allow bigger or smaller sensitivity of the offered algorithm to the relative changes of the load on interfaces of network devices. Using numerical modeling the plot of the dependence of path metric, calculated by EIGRP, on changing load in the modeled IP network, with the described algorithm taken into consideration, was built. The results showed that using the described method can stabilize the work of EIGRP and provide more control over the IP network, which in result can prevent failures in service and provide the information accessibility.

Introduction

In modern data transfer networks operating on the TCP/IP protocol stack, one of the most commonly used routing protocols is EIGRP or Enhanced Interior Gateway Routing Protocol. At first this protocol used to be proprietary and it was owned by its developers, Cisco Systems, who opened their creation to the general public as an Informational RFC, allowing other vendors to implement the protocol in their devices.

Initially, EIGRP was presented as a “hybrid” routing protocol that combines features of both link-state and distance-vector protocols. In fact, it is more correct to call it an enhanced distance-vector routing protocol. Unlike other protocols based on that algorithm, which are waiting for the route information updates while in dormant state, EIGRP inquires it by itself.

Unlike its predecessor, IGRP or Interior Gateway Routing Protocol, which was also designed by Cisco Systems, EIGRP does not rely to Bellman-Ford algorithm for finding the shortest path, but instead it uses Diffusing Update Algorithm or DUAL. There are some terms that can be associated with this algorithm:

- Successor – a neighboring router, through which the packets can be sent with the minimal cost;
- Advertised Distance (AD) – the cost (or the metric) of a route, which comes through the closest router to the destination network;
- Feasible Distance (FD) – AD value summarized with the cost of the route from closest router to the local one;
- Feasible Successor – a spare router, through which there is a route without loops;
- Feasible Condition – a condition stating if a router can become a Feasible Successor. (AD of a possible next router should be less than the FD of current route).

DUAL operates on the principle of a Finite State Machine (FSM). This way the work process for this algorithm is that if the connection with a successor is interrupted, the FSM will check the network for a possible successor, and, if there is one, it will become primary. After that the successor will be added to the routing table. Possible successors (if there are some) will be added to the topology table as well. If there are no Feasible Successors, the FSM puts the destination network into active state and requests new possible routes from its neighbours. In case where there is a possible neighbour, the successor is added to the routing table and all actions for the feasible successor are repeated. If there is no possible new route to the destination network, it gets deleted from topology and routing tables.

There are three tables used in EIGRP:

- Neighbor table – contains information about routers connected to a current one;
- Topology table – contains information about routes;
- Routing table – used while there has to be a decision about forwarding packets.

Implementation

To evaluate a quality of a route a metric is used. Metric is a number that represents some characteristics of a route or their aggregate. EIGRP has 5 of those characteristics, while only 2 are used initially:

- Bandwidth – lowest aggregate bandwidth between the source and the destination;
- Delay – cumulative delay of all of the interfaces on the route;
- Reliability – worst reliability on the route;
- Load – worst load on the route;
- MTU – lowest MTU on the route. Is not used to calculate the metric, but still included into the EIGRP updates.

To calculate the metric K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 coefficients are used. By default, $K_1 = K_3 = 1, K_2 = K_4 = K_5 = 0$. Values of given coefficients can vary from 0 to 255.

The formula to calculate the EIGRP composite metric is as follows:

$$M = \left(K_1 * BW + \left(\frac{K_2 * BW}{256 - Load} \right) + K_3 * Delay \right) * \left(\frac{K_5}{reliability + K_4} \right) * 256 \tag{1}$$

Where:

$$BW = 256 * \frac{10^7}{BW_{min}(Kbps)}; \tag{2}$$

$$Delay = 256 * \left(\sum_1^n \frac{Delay_n}{10} \right). \tag{3}$$

Where $Delay_n$ – is an aggregate of all of the delay values on all of the interfaces.

With constant load changes, recalculation of metrics with this formula can lead to a random route change and to loss of control of data network. This outcome leads to a denial of service, which can not be a desirable situation.

To prevent such behavior, it is proposed to apply an algorithm, which takes into consideration previous load values. To investigate the effect, this algorithm will have on the route metric, a simple network model was created (Fig. 1).

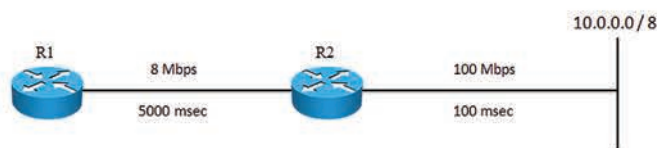


Fig. 1. Researched network topology.

In purposes of the research, the following values were chosen:

- $BW_1 = 100 Mbps = 100000 Kbps$;
- $BW_2 = 8 Mbps = 8000 Kbps$;
- $Del_1 = 100 msec = 0.0001 sec$;
- $Del_2 = 5000 msec = 0.005 sec$;
- $Rel = 255$.

As a *Load*, values of a uniform distribution function are chosen.

Values of a coefficients, used in the research:

- $K_1 = K_2 = K_3 = 1$;
- $K_4 = K_5 = 0$.

Thus the formula (1) takes the form of:

$$CM = (K_1 * \left(\frac{256 * 10^7}{BW_2}\right) + K_2 * \left(\frac{256 * 10^7}{256 - Load}\right) + K_3 * (256 * \left(\frac{Del_1}{10} + \frac{Del_2}{10}\right))) \quad (4)$$

Without taking into consideration the previous load values, the metric will appear as shown in the figure (fig. 2).

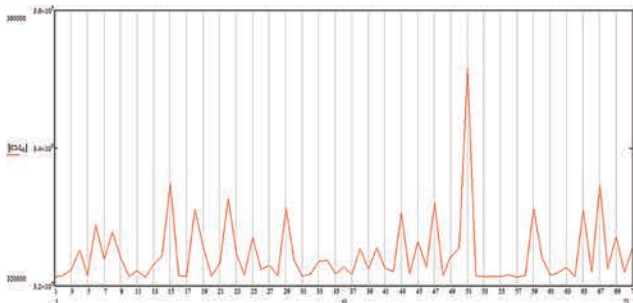


Fig. 2. Metric values depending on time.

As it can be seen on the graph, at some moments the value of metric significantly increases, creating a “peak”. This may adversely affect the operation of equipment.

The main problem of EIGRP, when working with load parameters, is how unstable the routes are, because of the probabilistic nature of the load. As a result, current protocol implementations do not use these parameters to calculate the metric. To get around these limitations, it is possible to use an adaptive algorithm, which responds to the load changes [3,4] and defined by difference equation:

$$Load_i = \alpha * Load_{i-1} + (1 - \alpha) * Load_{new}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (5)$$

According to the traits of differential equation, the value of the *Load* parameter, calculated for the current time period on the controller will depend on the values of *Load*, calculated on the previous time period and the values of *Load* parameter, acquired from the router for the current time period. With this equation the value of the latter in the total calculation result will depend on the value of coefficient α . While this coefficient is increasing, the sensitivity of a current algorithm to changes in the load is decreasing and vice versa. The question of how to choose the value of the coefficient in case of specific topologies and traffic patterns (load probability distribution law) is open and requires further investigation.

At the controller level [1,5] the threshold value is set, and it provides the condition of reaction on changes in load. With the setting of an α coefficient, it determines the complete reaction of an algorithm to load changes in the network.

Since for the calculation of metrics for the route, the router uses integer numerical values of all the parameters (bandwidth, delay, load and reliability), the controller-based calculations should be rounded to the nearest integer value, to subsequently pass those to the router.

The calculations are done for those router interfaces, which parameters controller was able to get.

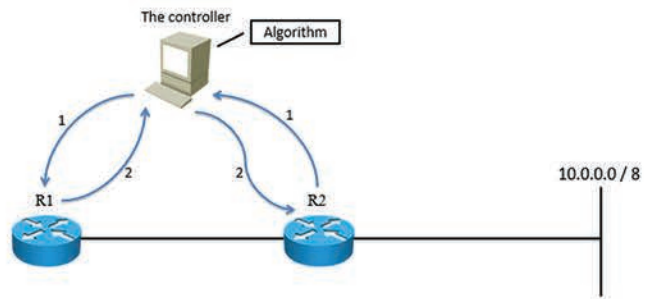


Fig. 3. Algorithm working process in the software-defined network

After the threshold value of a parameter (given by an administrator) was reached due to changes in load values, the controller transmits to a router (or several routers) the decision to recalculate the route. Since the router participating in the EIGRP working process know the current load values, the transmission of those parameters is not required. After receiving the decision whether to recalculate the routes, the router begins metric calculations either for all of the routes or only for those, which are affected by changing metric values according to the current EIGRP specifications without any modifications. This kind of final realization of proposed mechanism uses already existing on the network devices mechanisms and algorithms and it does not require any kind of changes neither in the hardware nor the software of network devices [3,4]. The proposed algorithm with all of the calculations can be deployed on a controller, which can be any platform [2], software or hardware, with the support of the relevant APIs.

As a result of the implementation of an adaptive algorithm, the EIGRP metric takes the form shown in the figure below (fig. 4):

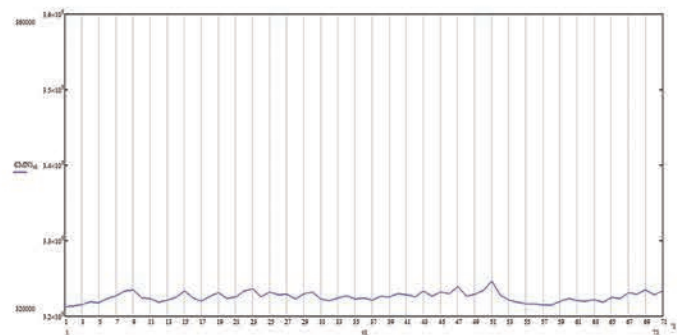


Fig. 4. Metric values depending on time, after the implementation of the adaptive algorithm

As it can be seen from the plot (fig. 4) the metric values are changing a lot smoother and there are almost no drastic changes in values (peaks).

On the image above (fig. 5) metric values before and after the implementation of the algorithm are together. The dotted line is the values with the standard working process of EIGRP, while

the regular line is what the metric values are after the implementation of proposed algorithm. As it can be seen from the plot, the reaction to the significant change in the metric is not that substantial. This can help set the certain threshold value of that change, for which it will be not necessary to recalculate the route.

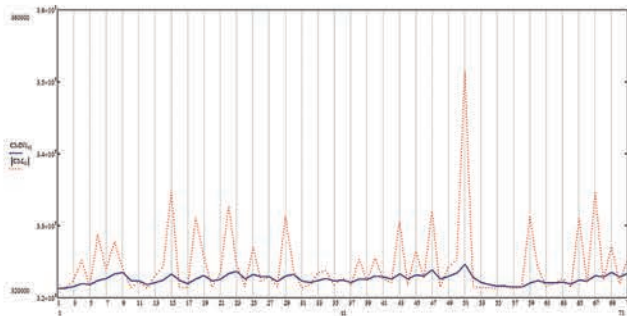


Fig. 5. Metric values before and after implementation of the adaptive algorithm

The control process of a LAN based on the short-term prediction of the spread of self-modifying code across the network nodes can be presented as a closed loop, consisting of separate phases (fig. 6). The first four phases define the cycle of processing and analyzing the information, while the rest define the control cycle.

Information processing and analyzing cycle solves the problems of generalization, processing and defining of the status of the self-modifying code (SMC) in the network nodes at a certain time; the problems of transmission of the given information to the network control center (NCC). The control cycle is responsible for prediction of the SMC spread through the network nodes, as well as for the decision-making in case of acquired data.

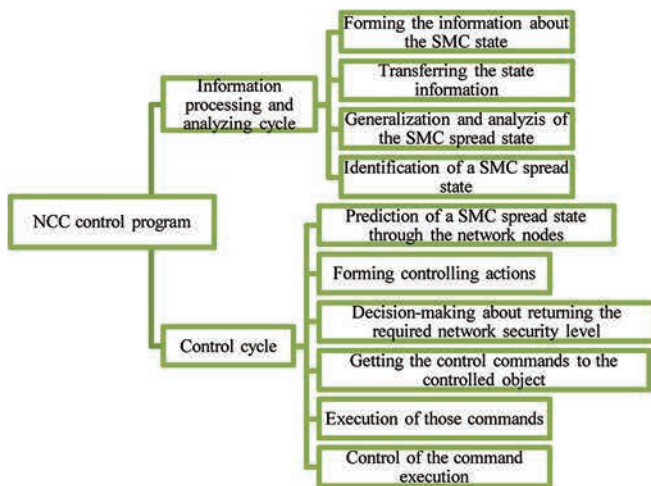


Fig. 6. Control process of the LAN NCC

In order to predict the spread of SMC, it was decided to use one of the control methodologies based on the Model Predictive Control (MPC). This methodology is already in use for almost half of a century in such areas like oil refining industry, medicine, energy, robotics, etc., which can show

that this methodology is effective and universal, as well as time-proved.

The development process for the control method for LANs based on short-term prediction of the SMC spread can be divided into the following stages: a description of a SMC spread model, creating some criteria for the safe state of a LAN, the calculation of a control rule.

One of the advantages of the control methodology using the prediction models is the possibility of study multifactorial process in advanced mode. Therefore, the prediction method based on the state-space model (SSMPC) is selected. To apply this method, it is required to create a mathematical model of the controlled object, which is later used in the prediction of an output data of a LAN on the basis of the past and current values and the estimated optimal controlling impacts in future. These impacts are calculated by an optimizer which also takes the quality criteria and the restrictions, imposed to the process variables, into consideration.

The selected model should encompass the dynamics of a process for an accurate prediction of future output values, it should be simple and easy to implement and understand.

Conclusion

As a result of this study, using the numerical modelling in MATLAB application, the plots of dependence of EIGRP metric on the changing load values in the IP data network were obtained. Those plots showed the difference between the standard EIGRP working process and the one with using of proposed algorithm. The results showed that using described method allows, firstly, to stabilize the EIGRP work, and, secondly, to provide greater control over an IP data network, which in combination, helps prevent the denial of service and provides the accessibility of information.

References

1. Thomas D. Nadeau, Gray K. SDN: Software Defined Networks. Sebastopol: O'Reilly, 2013. 350 p.
2. Azodolmolky S. Software Defined Networking with Open-Flow. Birmingham: Packt Publishing, 2014. 152 p.
3. Krasov A.V., Levin M.V. Opportunities management traffic of a concept within SDN. IV International scientific-technical and scientific-methodical conference: collection of scientific articles in 2 volumes. Actual infotelecommunications problems in science and education, St. Petersburg, 03-04 March 2015 St. Petersburg, St. Petersburg State University telecommunication them. prof. M.A. Bonch-Bruevich, 2015. Pp 350-354.
4. Krasov A.V., Levin M.V., Tsvetkov A.Y. Management data networks with varying load // All-Russian scientific conference on the problems of the Power Management-Technical Systems, St. Petersburg, 28-30 October 2015 St. Petersburg, St. Petersburg State Electrotechnical University, 2015. No. 1. Pp. 141-146.
5. Chugreev D.A., Shkrebits A.E., Shevel A.E., Vlasov D.V., Grudin V.A., Kairkanov A.B., Gardens O.L., Titov V.B., Horuzhnikov S.E., Soames LN Software-configurable network: OpenFlow and virtual network overlap // Modern problems of science and education. 2013. No. 4. Pp. 55.

For citation:

Krasov A.V., Levin M.V., Shterenberg S.I., Isachenkov P.A. Traffic flow management model in software-defined networks with unequal load metric. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 70–74.

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ТРАФИКА В ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ СЕТИ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ НАГРУЗКОЙ

Красов Андрей Владимирович,
Санкт-Петербург, Россия, krasov@pisem.net

Левин Марк Видимович,
Санкт-Петербург, Россия, m.va.levin@gmail.com

Штеренберг Стислав Игоревич,
Санкт-Петербург, Россия,
shterenberg.stanislaw@yandex.ru

Исаченков Павел Андреевич,
Санкт-Петербург, Россия, pais@tutamail.de

Аннотация

Рассматривается модель управления трафиком, основанный на учете телекоммуникационной нагрузки, который возможно применить в программно-определяемых сетях передачи данных на основе IP. Исследованы алгоритмы работы протокола маршрутизации EIGRP. Путем численного моделирования в прикладном пакете MatLab получены графики зависимости метрики маршрута, вычисляемой EIGRP, от изменяющейся нагрузки в моделируемой IP-сети передачи данных. На основе полученных результатов показано, что стандартное поведение EIGRP в отношении вычисляемой метрики при учете нагрузки, в том случае, если такая возможность активирована, носит нестабильный вероятностный характер и приводит к состоянию, при котором метрики маршрутов EIGRP постоянно пересчитываются, что приводит к случайному изменению маршрутов и потере контроля управления над IP-сетью передачи данных, что, в свою очередь, приводит к отказам в обслуживании и нарушению свойства доступности информации, как одного из элементов информационной безопасности. Предложено, для предотвращения такого поведения, использовать модифицированную модель маршрутизации EIGRP – вынести на отдельное управляющее устройство – контроллер – метод управления трафиком, который цен-

трализованно собирает со всех сетевых устройств информацию о действующей на интерфейсах этих устройств нагрузке; контроллер, для обработки полученной от сетевых устройств информации, использует алгоритм, который, в свою очередь, позволяет учитывать не абсолютное, а относительное изменение нагрузки на интерфейсах сетевых устройств. Предложено также, в рамках описанного алгоритма, использовать различные значения коэффициентов, изменения которых позволяют обеспечить большую или меньшую чувствительность предложенного алгоритма к относительным изменениям нагрузки на интерфейсах сетевых устройств. Путем численного моделирования в прикладном пакете MatLab получены графики зависимости метрики маршрута, вычисляемой EIGRP, от изменяющейся нагрузки в моделируемой IP-сети передачи данных с использованием описанного в статье метода управления трафиком, показывающие, что применение описанного в статье метода, позволяет, во-первых, стабилизировать работу EIGRP, во-вторых, обеспечить больший управляющий контроль над IP-сетью передачи данных, что, в совокупности, позволяет предотвратить отказы в обслуживании и обеспечить свойство доступности информации.

Ключевые слова: программно-определяемые сети; нагрузка; управление трафиком; отказоустойчивость; доступность; метрика; маршрутизация.

Информация об авторах:

Красов А.В., к.т.н., доцент, зав. каф. Защищенных систем связи, Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича;

Левин М.В., ассистент каф. Защищенных систем связи, Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича;

Штеренберг С.И., ассистент каф. Защищенных систем связи, Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича;

Исаченков П.И., студент-магистр каф. Защищенных систем связи, Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.

Для цитирования:

Красов А.В., Левин М.В., Штеренберг С.И., Исаченков П.А. Модель управления потоками трафика в программно-определяемой сети с изменяющейся нагрузкой. Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 4. С. 70–74.



ВУС

Военно-учетный стол

Программный комплекс

- Информационное сопряжение с БД военных комиссариатов и проведение сверки в электронном виде
- Совместимость с Комплексом программно-информационных средств мобилизационной подготовки экономики (КПИС МПЭ), построен на той же платформе и расширяет возможности данного комплекса
- Возможность загрузки картотек из других программ, организация работы в сети
- Авторский надзор за эксплуатацией ПК ВУС для наращивания рабочих функций и совершенствования программного комплекса, гарантийное обслуживание

Воинский учет в организациях:

- Ведение электронных Картотек организаций, филиалов и граждан (по Т-2 и Т-2 ГС);
- Документы необходимые для ведения ВУ в организации (приказ, план работы, журнал проверок, расписки о приеме документов ВУ и др.);
- Создание и печать отчетных документов по установленным формам в соответствии с Инструкцией ГШ ВС РФ по ведению ВУ в организациях;
- Генерация документов по бронированию.

Первичный воинский учет в органах местного самоуправления:

- Ведение Картотеки организаций зарегистрированных на территории ОМСУ;
- Построение и управление картотекой граждан пребывающих в запасе и призывников в ОМСУ;
- Создание отчетных форм документов и других данных в соответствии с Методическими рекомендациями ГШ ВС РФ по ведению первичного ВУ в ОМСУ;
- Распределение организаций ведущих учет ГПЗ по видам экономической деятельности, формам собственности и численности работающих в ней граждан.

Учет и Бронирование в Межведомственных комиссиях:

- Организация картотеки различных органов РФ от правительства до организации включительно с различными формами учета и отчетности, ведение структуры подчиненности;
- Автоматический расчет форм №6, формы №18 расчет и обобщение суммарной формы №6 за все подотчетные объекты;
- Анализ обеспеченности трудовыми ресурсами;
- Ведение перечня должностей и профессий по бронированию граждан;
- Определение сотрудников подлежащих бронированию, бронирование сотрудников в соответствии с ПДП;
- Заполнение, передача, сбор и обобщение форм ГД.



НПЦ ИРС

Научно-производственный центр
Информационных региональных систем

▶ npcirs.ru

ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Предоставляемая для публикации статья должна быть актуальной, обладать новизной, отражать постановку задачи, содержать описание основных результатов исследования, выводы, а также соответствовать указанным ниже правилам оформления. Текст должен быть тщательно вычитан автором, который несет ответственность за научно-теоретический уровень публикуемого материала.

1. Статья подготавливается в редакторе MS Word.
2. Формульные выражения выполняются в редакторе Math Type. Также в отдельной папке должны содержаться экспортированные изображения формул в формате TIFF (качество изображений не менее 300 dpi). Названия файлов должны соответствовать номерам формул в статье (Например: Формула 1.tif).
3. Объем статьи без аннотации – от 10 до 20 тыс. знаков. Рисунки и таблицы в объеме статьи не учитываются.
4. Объем аннотации 250-300 слов. Аннотация должна быть информативной (не содержать общих слов), без сокращений, структурированной, отражать основное содержание статьи: предмет, цель, методологию проведения исследований, результаты исследований, область их применения, выводы. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье. Предложения должны начинаться словами: показано, получено, исследовано, предсказано и т.д. и т.п.
5. Ключевые слова (не менее пяти), разделенных точкой с запятой.
6. Фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность и полное название организации - места работы, город, страна, адрес электронной почты и почтовый адрес каждого автора полностью.
7. Список литературы не менее пяти наименований, для статей - с указанием страниц, для книг - с указанием общего числа страниц в книге, для интернет-сайта - с указанием даты обращения. Ссылки должны быть только на статьи, патенты, книги и статьи из сборников трудов. В списках литературы не размещать ГОСТы, рекомендации, диссертации, авторефераты и другую нормативную и непериодическую документацию, эти данные можно указывать в теле статьи в скобках или в виде постраничных ссылок (если автор

непрерывно хочет указать нормативный документ или сослаться на свою диссертацию). Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.05-2008. Образец оформления списка литературы размещен на сайте журнала.

8. Формулы нумеруются в круглых скобках, источники – в прямых. Нумерация формул и приведение в списке источников, на которые нет ссылок по тексту, не допускается.

9. На английском языке предоставляется: название статьи, фамилия, имя, отчество, город, страна и электронный адрес всех авторов полностью, аннотация, ключевые слова и списки литературы. В конце размещается полная информация об авторах (возможно размещение кратких автобиографий): фамилия, инициалы, должность, ученая степень, ученое звание, место работы (организация) и другие данные с надписью (Information about authors).

Все названия издательств и журналов должны быть транслитерированы, а не переведены. Названия организаций в списках литературы (Труды Академии...) должны быть четко выверены с данными организации и иметь официальное английское наименование, которое указано на их сайте или также транслитерированы. Образец оформления списка литературы размещен на сайте журнала.

10. Статья предоставляется в электронном виде, единым файлом, имеющим следующую структуру: заглавие статьи, сведения об авторах, ключевые слова, аннотация, текст статьи (включая иллюстрации, таблицы и формулы), приставительный список литературы, англоязычный блок. Также представляется отдельная папка с экспортированными изображениями рисунков и формул в формате TIFF, по требованиям указанным в п.2. Тексты в рисунках должны быть читаемы.

11. К статье прилагается экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати и две рецензии кандидатов или докторов наук по профилю планируемой публикации материалов (сканированные копии в электронном виде).

Все материалы высылаются электронной почтой в адрес журнала: HT-ESResearch@yandex.ru

Редакция принимает к публикации статьи на английском языке.

Внимание! Редакция оставляет за собой право отклонить представленные материалы, оформленные не по указанным правилам.

MANUSCRIPT REQUIREMENTS

Format

1. All files should be submitted as a Word document.
2. Articles should be between 15000 and 20000 characters (incl. spaces).
3. Article Title to be submitted in native language and English. A title of not more than eight words should be provided.

Author Details (in English and native language)

Details should be supplied on the Article Title Page including:

- * Full name of each author
- * Position, rank, academic degree
- * Affiliation of each author, at the time the research was completed
- * Full postal address of the affiliation
- * E-mail address of each author
- * Structured Abstract (in English and native language)
- * Abstract should be: informative (no general words), original, relevant (reflects your papers key content and research findings); structured (follows the logics of results presentation in the paper), concise (between 250 and 300 words).
- * Purpose (mandatory)
- * Design/methodology/approach (mandatory)
- * Findings (mandatory)
- * Research limitations/implications (if applicable)
- * Practical implications (if applicable)
- * Social implications (if applicable)
- * Originality/value (mandatory)

It is appropriate to describe the research methods/methodology if they are original or of interest for this particular research. For papers concerned with experimental work describe your data sources and

data procession technique. Describe your results as precisely and informatively as possible. Include your key theoretical and experimental results, factual information, revealed interconnections and patterns. Give special priority in your abstract to new results and long-term impact data, important discoveries and verified findings that contradict previous theories as well as data that you think have practical value.

Conclusions could be associated with recommendations, estimates, suggestions, hypotheses described in the paper.

Information contained in the title should not be duplicated in the abstract. Try to avoid unnecessary introductory phrases (e.g. the author of the paper considers).

Use the language typical of research and technical documents to compile your abstract and avoid complex grammatical constructions. The text of the abstract should include key words of the paper.

Keywords (in English and native language)

Please provide up to 5 keywords on the Article Title Page, which encapsulate the principal topics of the paper.

Figures

All figures should be of high quality, legible and numbered consecutively with arabic numerals. All figures (charts, diagrams, line drawings, web pages/screenshots, and photographic images) should be submitted in electronic form preferably in color as separate files, that match the following parameters: TIFF format (quality of figures not less than 300 dpi).

References

References to other publications must be in Harvard style and carefully checked for completeness, accuracy and consistency.