



СПЕЦВЫПУСК S1-2016

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 Паблшер»

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
Паблшер». 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 Паблшер» 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 отечественных 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
СИНИЦЫН 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

GONCHAREVSKIY 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

SPECIAL ISSUE

S1-2016

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



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 содержания;
- 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

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

СОДЕРЖАНИЕ

Макаров М.И., Павлов С.В., Куреев В.Д. Автоматизация процессов управления на космодромах в целях обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры.....	6
Закутаев А.И., Котов В.С. Анализ основных причин неисправностей и отказов высоконапорных водотрубных котлов типа КВГ	14
Гончаренко В.И., Горченко Л.Д. Визуализация следа траекторий аэробаллистических летательных аппаратов на электронных картах земли	20
Каныгин А.В., Степанов А.А., Степанов А.В., Ченцов А.Е. Комплекс методик совершенствования мониторинга качества ВВСТ по результатам эксплуатации в войсках	30
Легков К.Е., Емельянов А.В. Математическое обеспечение контуров автоматизированных систем управления информационными системами специального назначения при решении задач учета и мониторинга	37
Гусеница Я.Н., Шерстобитов С.А., Малахов А.В. Метод обоснования межповерочных интервалов средств измерений	44
Допира Р.В., Шароглазов В.Б., Ягольников Д.В., Архипов А.А., Керницкий А.Г. Метод планирования применения перспективных средств войскового ремонта и технического обслуживания вооружения и военной техники противовоздушной обороны в зоне ответственности.....	49
Цимбал В.А., Попов М.Ю., Подлегаев А.В. Механизм управления скоростью передачи сообщений как подход к снижению гарантированного времени доведения в односторонней циркулярной радиосети оповещения	54
Захаров И.В., Забузов В.С., Соколовский А.Н., Эсаулов К.А. Моделирование функционирования живучих бортовых вычислительных систем с учетом их структурно-параметрической деградации	60
Нестеренко О.Е., Гончаров А.М., Коченов Н.В., Ледянкин И.А. Обоснование выбора характеристик и параметров процедур обработки оперативной информации в автоматизированных системах специального назначения	67
Логовский А.С., Харебин Д.А. Организация автоматизированного обучения на учебно-тренировочных средствах в интересах эксплуатации РЛС дальнего обнаружения.....	71
Куреев В.Д., Кузьмич А.А., Медушевский Л.С., Соколов Ю.А. Перспективы развития информационного и программно-алгоритмического обеспечения вычислительных комплексов оценки и контроля надежности (ВКОИКН) пилотируемых кораблей, многоразовых ракет космического назначения и космических аппаратов с длительными сроками функционирования.....	80

CONTENTS

Makarov M.I., Pavlov S.V., Kureev V.D. Automation of cosmodrome control procedures with a view to ensure reliability and safety of the rocket and space technology and ground space infrastructure facilities operation.....	6
Zakutaev A.I., Kotov V.S. Root cause analysis malfunctions and failures of high-water boiler of type "KVG"	14
Goncharenko V.I., Gorchenko L.D. Vizualization of trace paths of aeroballistic aerial vehicles on electronic maps of the earth.....	20
Kanygin A.V., Stepanov A.A., Stepanov A.V., Chentsov A.E. Complex of techniques of improvement of monitoring of quality military and special equipment is presented by results of operation in armies	30
Legkov K.E., Emelyanov A.V. Mathematical provision of automated control systems of information systems of special purpose in dealing with accounting and monitoring tasks.....	37
Gusenitsa Y.N., Sherstobitov S.A., Malakhov A.V. Method of justification the intervals of measuring instruments verification	44
Dopira R.V., Sharoglazov V.B., Yagolnikov D.V., Archipov A.A., Kernitckiy A.G. Method of planning of application of perspective means of army repair and maintenance of arms and military equipment of antiaircraft defense in the responsibility zone.....	49
Tsimbal V.A., Popov M.Yu., Podlegaev A.V. The mechanism of a speed control of message transfer as the approach to decrease in guaranteed time of finishing in a unilateral circular radio network of the notification.....	54
Zakharov I.V., Zabuzov V.S., Sokolovskij A.N., Esaulov K.A. The modeling of survival onboard computing systems operating taking into account structural-parametric degradation.....	60
Nesterenko O.E., Goncharov A.M., Kochenov N.V., Ledyankin I.A. The rationale for the selection of characteristics and parameters processing of operational information in automated systems special purpose.....	67
Logovsky A.S., Harebin D.A., The organization of the automated training on educational and training means in interests of operation RLS of distant detection.....	71
Kureev V.D., Kuzmich A.A., Medushevskiy L.S., Sokolov Y.A. Prospects for the development of information and program algorithmic data processing reliability evaluation and monitoring spaceships, rockets reuseable outer purpose and spacecraft with long periods of operation	80

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ НА КОСМОДРОМАХ В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОЙ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Макаров Михаил Иванович,

д.т.н., проф., директор «НИИ КС имени А.А.Максимова» — филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», г. Королёв, Московской области, Россия

Павлов Сергей Владимирович,

к.в.н., с.н.с, заместитель директора «НИИ КС имени А.А.Максимова» — филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» по научной работе, г. Королёв, Московской области, Россия

Куреев Виктор Дмитриевич,

д.т.н., проф., заместитель начальника комплекса «НИИ КС имени А.А.Максимова» — филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», г. Королёв, Московской области, Россия, kureev@niiks.com

Аннотация

Обоснованы актуальность и необходимость комплексного подхода к обеспечению надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры. В этих целях определена необходимость создания автоматизированной системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и объектов наземной космической инфраструктуры на космодроме. Дана общая характеристика автоматизированной системы. На примере космодрома «Восточный» представлены состав и структура автоматизированной системы, определена ее новизна и основные научно-технические задачи, решаемые при ее создании. Рассмотрены технические характеристики предлагаемой автоматизированной системы, представлен состав подсистем и решаемые ими задачи. Отражены вопросы интеграции и совместного функционирования подсистем, организации создания и эксплуатации автоматизированной системы, а также выполнена оценка ожидаемой эффективности автоматизированной системы.

Ключевые слова: автоматизированная система; надежность; безопасность; эксплуатация; ракетно-космическая техника; наземная космическая инфраструктура.

1 Общая характеристика состояния вопроса обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры

В современных условиях перехода России на инновационный путь развития, повышения значимости космической деятельности в решении научных, социально-экономических и оборонных задач страны возрастают требования к надежному, безаварийному и безопасному функционированию всех создаваемых и эксплуатируемых космических средств. Вопросы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники (РКТ) и наземной космической инфраструктуры (НКИ) приобретают особую актуальность в условиях нарастающей конкуренции космических держав на рынке космических услуг, а также введения Западом секторальных экономических санкций, в том числе, против ракетно-космической отрасли России.

Эксплуатируемые и вновь создаваемые на космодромах объекты наземной космической инфраструктуры являются промышленными объектами повышенной опасности, обеспечивающими проведение дорогостоящих пусковых кампаний по выводу на орбиту российских и зарубежных космических аппаратов различного назначения. Задержки пусков или аварии, возникающие вследствие отказов наземного оборудования и средств выведения, приводят к необходимости проведения длительных восстановительных работ, к многомиллиардным штрафным выплатам заказчикам пусковых услуг, а также к снижению рейтинга России на мировом рынке космических услуг. В связи с указанным все объекты РКТ и НКИ нуждаются в непрерывном контроле и управлении их надежностью и безопасностью в процессе их создания и эксплуатации. При решении данной задачи в настоящее время недостаточно полно реализуется комплексный подход, фрагментарно используются существующие технологии контроля состояния объектов и технологических процессов, частично применяются современные программно-технические средства обработки информации и телекоммуникационные технологии.

Вышесказанное позволяет заключить, что дальнейшее развитие системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации РКТ и НКИ является актуальной научно-технической задачей, решение которой требует разработки нового комплексного подхода, основанного на перспективных технологиях мониторинга технического состояния, обработки, передачи и анализа информации.

Для решения данной задачи требуется разработка автоматизированной информационной контрольно-измерительной системы поддержки принятия решений, предназначенной для комплексного автоматизированного контроля параметров технического состояния объектов НКИ и РКТ, мониторинга выполняемых технологических процессов, оперативного анализа, оценки и прогноза развития возникающих нештатных ситуаций.

Создание и практическое использование новых технологий в системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации РКТ и НКИ позволит:

- минимизировать риски принятия неправильных решений при возникновении нештатных ситуаций в ходе испытаний и эксплуатации космических средств на космодромах;
- повысить уровень технической готовности к применению, надежности и безопасности объектов НКИ космодромов при проведении пусковых кампаний;
- сократить стоимость пусковых услуг, повысить конкурентноспособность космодромов на мировом рынке космических услуг.

2. Актуальность задачи комплексного обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры на космодромах

Под обеспечением надежной и безопасной эксплуатации РКТ и НКИ на космодроме «Восточный» понимается комплекс последовательных организационно-технических мероприятий, обеспечивающий при его реализации решение задачи оценки, контроля и обеспечения заданных уровней надежности и безопасности КРК и их элементов в процессе их создания и модернизации, а также при их эксплуатации.

Традиционно обеспечение требований к надежности и безопасности конкретных КРК и их элементов осуществлялось автономно, без взаимосвязи с другими объектами космодрома на основе Положения РК-11-КТ, ОТТ КС — 88, Российских стандартов по надежности и безопасности космической техники. Оценка, контроль и обеспечение заданных уровней надежности и безопасности проводится на всех этапах создания КРК (в соответствии с Положением РК-11-КТ):

Аванпроект.

Эскизный проект.

Разработка рабочей документации на опытные изделия, комплексы и макеты.

Изготовление макетов и опытных изделий комплекса, АИ и корректировка рабочей документации.

Изготовление опытных изделий комплекса, КИ, МВИ и корректировка рабочей документации.

Летные испытания.

Подготовка документации на изделия серийного производства.

Подготовка и освоение серийного производства, изготовление, испытания изделий и корректировка документации на изделия серийного производств.

Ввод в эксплуатацию.

Эксплуатация.

Несмотря на то, что существующий подход к обеспечению требований в части надежности и безопасности соответствует основным нормативным документам, он не учитывает ряда факторов, позволяющих существенно повысить эффективность обеспечения надежной и безопасной эксплуатации. В первую очередь это касается задачи комплексного обеспечения требований к надежности и безопасности объектов РКТ и НКИ, автоматизации процессов мониторинга технического состояния, надежности и безопасности, определения местоположения транспортных средств, транспортируемых объектов РКТ и технического персонала, подготовки данных на пуски РКН, создания автоматизированной подсистемы поддержки принятия решений по управлению эксплуатацией РКТ и НКИ.

Задача комплексного обеспечения надежной и безопасной эксплуатации РКТ и НКИ обладает высокой актуальностью, что объясняется следующими основными факторами.

Во-первых, прогнозируемым большим количеством отказов и нештатных ситуаций на объектах НКИ вновь создаваемых космодромов. Создаваемая НКИ насыщена большим количеством опасных промышленных объектов, такими как: крановое и лифтовое оборудование; сосуды и трубопроводы высокого давления; ёмкости с агрессивными и токсичными жидкостями и газами; объекты электроэнергетики с высоким напряжением электрического тока; радиотехнические системы с излучениями различной мощности и частоты; высотные здания и сооружения; подземные замкнутые помещения, тоннели, потёрны и т.п. На объектах НКИ в период пусковых кампаний ежедневно сотни людей будут выполнять десятки опасных технологических операций. Например, анализ опыта эксплуатации космодромов «Байконур» и «Плесецк» показывает, что прогнозируемое на космодроме «Восточный» количество возникающих отказов и повреждений оборудования НКИ, требующих проведения ремонтно-восстановительных работ, составит 500–600 отказов в год.

Во-вторых, интенсивным массовым вводом в эксплуатацию новых объектов НКИ и образцов РКТ с низкой начальной надежностью, значительным количеством конструкционных и приработочных отказов. Низкий начальный уровень надёжности сложных технических систем — объективная закономерность, проявляющаяся на начальном этапе их эксплуатации. Ожидаемый срок снижения и стабилизации параметра потока отказов для ракетно-космических комплексов составляет в среднем 7 ... 10 лет. Следует отметить, что в условиях начавшегося замещения импортных комплектующих изделий изделиями отечественного производства, прежде всего электронной элементной базы, также ожидается рост количества отказов и неисправностей объектов НКИ.

В-третьих, повышенным негативным влиянием человеческого фактора на качество технического обслуживания и применения космических средств космодрома на начальном этапе эксплуатации РКТ. Наличие данного фактора объясняется тем, что в связи со значительным удалением космодромов от действующих центров эксплуатации РКТ на начальном этапе эксплуатации ожидается дефицит квалифицированных специалистов с опытом работы в области эксплуатации космической техники, необходимых для формирования эксплуатирующих подразделений. Следует отметить, что на космодромах «Байконур» и «Плесецк» при вводе в эксплуатацию новой РКТ основу технического персонала составляли профессионалы высокого класса, имеющие большой опыт работ на опасных промышленных объектах. Снижение негативного влияния дефицита высококвалифицированных специалистов может быть обеспечено путём активного внедрения средств автоматизации, прежде всего в области контроля технического состояния, надёжности и безопасности объектов НКИ и РКТ.

В-четвёртых, отсутствием комплексного подхода при решении задач обеспечения технического состояния, надёжности и безопасности объектов НКИ космодромов. Задачи обеспечения надёжности и безопасности объектов НКИ решаются автономно конструкторами каждой из создаваемых составных частей НКИ космодрома. Для эффективного решения задач обеспечения надёжности и безопасности космодром должен рассматриваться как большая человеко-машинная система, имеющая единый центр мониторинга и управления состоянием потенциально опасных объектов и процессов, а также единое информационное поле для автоматического или автоматизированного взаимодействия всех сил и средств, обеспечивающих контроль технического состояния, предотвращение нештатных ситуаций и ликвидацию их последствий.

Эти обстоятельства могут привести к следующим негативным последствиям:

- снижению уровня технической готовности объектов НКИ космодромов к проведению пусковых работ;
- увеличению свыше допустимых уровней частоты возникновения и продолжительности задержек проведения технологических операций в процессе пусковых работ;
- низкой оперативности и достоверности оценок технического состояния, надёжности и безопасности объектов НКИ космодрома и, как следствие, повышению рисков принятия неправильных решений в процессе эксплуатации;
- увеличению стоимости эксплуатации космических средств на космодrome.

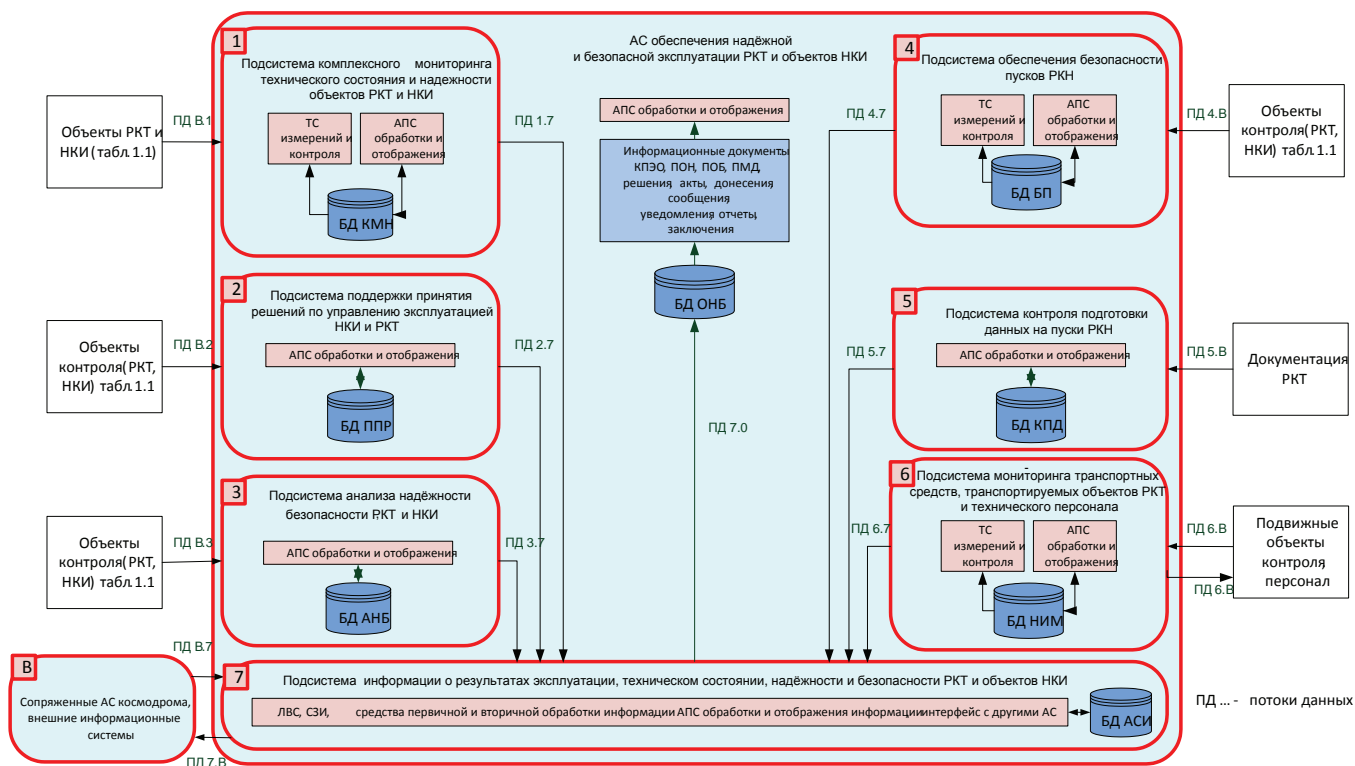


Рис. 1. Состав и структура автоматизированной системы обеспечения надёжной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и объектов наземной космической инфраструктуры космодрома «Восточный»

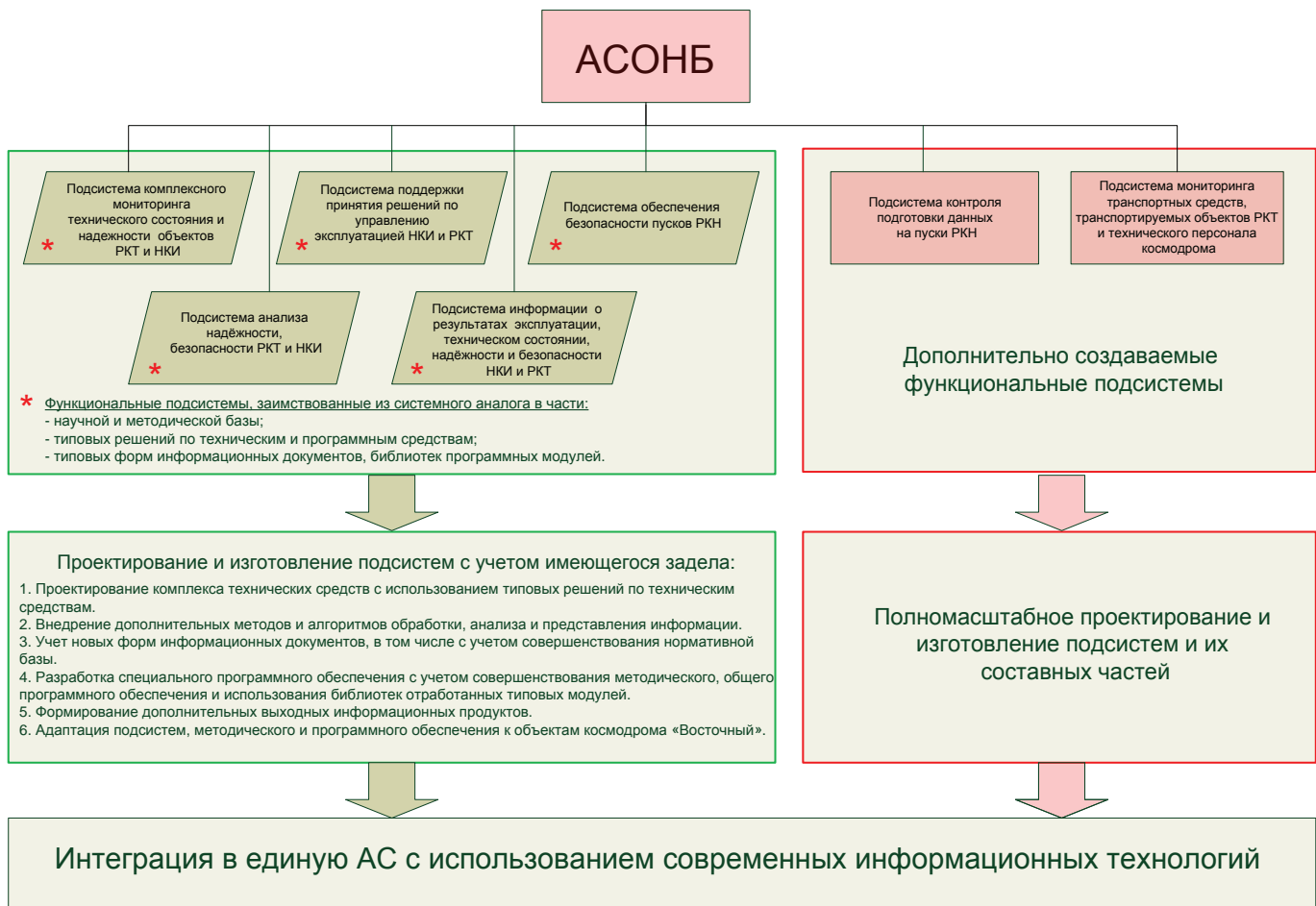


Рис. 2. Использование ранее созданного научно-технического задела

3 Предложения по автоматизированной системе обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и объектов наземной космической инфраструктуры космодромов

3.1. Общая характеристика системы

Анализ рациональных путей комплексного внедрения требований к надежности и безопасности объектов наземной космической инфраструктуры и средств выведения на космодромах, показал, что эффективное решения данной задачи может быть обеспечено на основе системной увязки проводимых мероприятий в совокупности с кардинальным повышением уровня автоматизации процессов контроля и поддержки принятия решений. Таким образом актуальным становится вопрос создания автоматизированной системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и объектов наземной космической инфраструктуры космодрома, что обусловлено следующими основными факторами:

сложной организационно-технической структурой космодрома как объекта эксплуатации, в состав которой входит значительное количество опасных промышленных объектов, автоматизированный контроль состояния которых на предмет оценки состояния, прогнозирования аварийных (нештатных) ситуаций, оперативной и эффективной организации ремонтно-восстановительных работ необходим для эффективного функционирования космодрома как в период пусковых кампаний, так и в повседневной деятельности;

высокой интенсивностью ввода в эксплуатацию новых объектов НКИ и образцов РКТ с объективно низкой начальной надежностью, значительным ожидаемым количеством конструкционных и приработочных отказов, что обуславливает необходимость автоматизации процесса организации их полигонной отработки и испытаний;

высоким влиянием человеческого фактора на качество эксплуатации технических средств космодрома, что является весьма значимым фактором в условиях возможного дефицита квалифицированных специалистов на начальных этапах функционирования космодрома и может быть в значительной степени компенсировано внедрением средств автоматизации контроля объектов и персонала;

необходимостью реализации комплексного подхода при решении задач обеспечения технического состояния, надежности и безопасности РКТ и НКИ на космодроме, основанном на иерархической централизации мониторинга и управ-

ления состоянием объектов космодрома и оценки ситуации на базе единого информационного поля, обеспечивающего интеграцию информационных ресурсов космодрома, повышение эффективности взаимодействия всех сил и средств.

На примере космодрома «Восточный», автоматизированную систему обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и объектов наземной космической инфраструктуры космодрома «Восточный» (АСОНБ) предлагается создавать в рамках реализации «Основных положений ОСНОВ государственной политики РФ в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу» в части обеспечения гарантированного доступа Российской Федерации в космос со своей территории (рис. 1).

Создание АСОНБ направлено на повышение эффективности функционирования космодрома «Восточный» на основе автоматизации основных процессов обеспечения надежности ракетно-космической техники, объектов наземной космической инфраструктуры и безопасности их наземной эксплуатации путем создания эффективных аппаратно-программных и инструментальных средств обработки и анализа информации, разработки нормативно-методической документации. Их создание и ввод в эксплуатацию обеспечит оперативную информационную поддержку принятия решений в процессе управления функционированием системы эксплуатации космодрома «Восточный», своевременное предупреждение о возможных аварийных и чрезвычайных ситуациях.

Реализация мероприятия в полной мере соответствует основным положениям Концепции информатизации Роскосмоса в части формирования единого информационного пространства отрасли, а также базируется на результатах, достигнутых в ходе выполнения опытно-конструкторской работы (ОКР) «Создание обеспечивающих объектов, средств и систем НКИ космодрома «Восточный» (шифр «НКИ- Восток») в части создания системы информационного обмена между объектами космодрома.

Новизна АСОНБ, как перспективной разработки, заключается в следующем (рис. 2):

создаваемая автоматизированная система будет адаптирована к космодрому «Восточный», как к вновь создаваемой сложной организационно-технической системе, обладающей спецификой размещения элементов и имеющей в своем составе значительное количество вновь создаваемых объектов РКТ и НКИ;

в полной мере будет учтено развитие нормативно-методической базы в области обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры космодромов;

в рамках мероприятия предполагается решать ряд новых задач в интересах повышения эффективности обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры космодрома, включая обеспечение автоматического получения данных о параметрах состояния наиболее значимых (опасных) объектов наземной космической инфраструктуры, реализацию функций контроля подготовки данных на пуски РКТ, комплексного мониторинга мобильных объектов и персонала космодрома;

при создании автоматизированной системы предполагается использовать перспективные наработки и современные достижения в области разработки распределенных интегрированных информационных систем, специального программного обеспечения и баз данных, ориентированные на информационные потребности органов управления космодрома и структуру создаваемой единой сети информационного обмена космодрома.

Основными научно-техническими задачами при создании АСОНБ следует считать:

определение информационных потребностей органов управления космодрома «Восточный» при решении задач обеспечения надежной и безопасной эксплуатации объектов РКТ и НКИ;

разработка и совершенствование методов и математических моделей контроля и управления техническим состоянием, надежностью и безопасностью РКТ и НКИ космодрома «Восточный»;

формирование концепции создания автоматизированной системы обеспечения надежности и безопасности объектов наземной космической инфраструктуры космодрома «Восточный»;

создание и отработка составных частей и опытного образца АСОНБ в целом, реализующего выполнение функций системы в реальных условиях функционирования;

разработка предложений по дальнейшему развитию АСОНБ и ее базовых технологий.

3.2. Техническая характеристика автоматизированной системы

В настоящее время автоматизация процессов обеспечения надежной и безопасной эксплуатации РКТ и НКИ осуществляется, как правило, автономно разработчиками различных технических средств и систем космодрома.

Электронный документооборот в рамках общей системы эксплуатации имеет фрагментарный характер, модели контроля и прогнозирования используются в недостаточной степени и ориентированы в основном на параметрический анализ данных контроля.

Одна из первых работ по системной увязке информационного обеспечения процессов надежной и безопасной эксплуатации РКТ и НКИ в рамках космодрома в целом была предпринята в рамках ОКР «Радиент» на космодроме «Плесецк» в интересах Министерства обороны РФ (головной исполнитель — НИИ космических систем имени А. А. Максимова — филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева»). Созданная в рамках ОКР «Радиент» автоматизированная система разработана и введена в эксплуатацию на космодроме «Плесецк» (Приказ Министра обороны РФ от 24.12.2014 г. № 961) и в дальнейшем рассматривается в качестве системного аналога.

Основными процессами, автоматизация которых обеспечивается при функционировании системного аналога являются: процессы обработки результатов измерений параметров технического состояния объектов с использованием средств неразрушающего контроля с автоматизированным выявлением признаков дефектов, идентификацией предотказных и неработоспособных состояний, формированием базы данных об отказах (дефектах), электронных и печатных документов;

организационные процессы управления эксплуатацией объектов ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры космодрома в части учетно-контрольных задач и формирования электронных и печатных документов; процессы анализа причин и последствий возникновения отказов (происшествий) и прогнозные оценки технического состояния и надежности технических средств;

процессы измерения и оценки параметров рабочих мест космодрома, параметров безопасности в позиционном районе и по трассам полета в различных ситуациях;

организация электронного документооборота в рамках системы эксплуатации.

Используя опыт создания системного аналога, в рамках реализации мероприятия предусматривается создание двухуровневой автоматизированной системы на базе технологий «клиент- сервер», общая структура которой приведена на рис. 1.

В качестве подсистем нижнего уровня рассматриваются:

подсистема комплексного мониторинга технического состояния объектов ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры космодрома «Восточный» (ПМТС);

подсистема поддержки принятия решений по управлению эксплуатацией объектами ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры космодрома «Восточный» (ППР);

подсистема анализа надёжности и безопасности РКТ и объектов НКИ космодрома «Восточный» (ПАНБ);

подсистема обеспечения безопасности пусков ракет космического назначения на космодроме «Восточный» (ПОБПР);

подсистема контроля подготовки данных на пуски ракет космического назначения на космодроме «Восточный» (ПКПД);

подсистема мониторинга транспортных средств, транспортируемых объектов РКТ и технического персонала космодрома «Восточный» (ПМТП).

Данные подсистемы ориентированы на решение вопросов сбора, обработки, анализа и хранения данных, поступающих от измерительных средств подсистем или сопряженных информационных систем космодрома и функционируют в интересах соответствующих его служб (структурных подразделений).

Верхний уровень системы образует подсистема информации о результатах эксплуатации, техническом состоянии, надёжности и безопасности ракетно-космической техники и объектов наземной космической инфраструктуры космодрома «Восточный» (ПИ). Данная подсистема обеспечивает получение данных и взаимодействие между подсистемами первого уровня с использованием единой сети информационного обмена космодрома, накопление обобщённых данных (электронных документов) по тематике обеспечения надёжной и безопасной эксплуатации РКТ и НКИ космодрома, генерализацию информации, ориентированной на формирование тематической информации ориентированную на поддержку принятия решения в создаваемом ситуационном центре космодрома и на уровне органов управления Роскосмоса.

Интеграция и совместное функционирование подсистем АСОНБ осуществляется на основе:

использования общей методической базы в области оценки и обеспечения надёжной и безопасной эксплуатации РКТ и объектов НКИ;

рационального распределения функций между подсистемами;

рационального конфигурирования потоков данных, необходимых для эффективного функционирования подсистем и АСОНБ в целом;

использования единой сети информационного обмена космодрома;

рационального сочетания и использования локальных и общих хранилищ (баз) данных;

использования единых форматов сообщений и протоколов обмена данными, а также единого документооборота.

При построении автоматизированной системы предусмотрено использование апробированных технологий создания многоуровневых открытых систем с использованием модели OSI, позволяющих работать при различных конфигурациях информационных сетей и протоколах обмена, в том числе использующих технологии VPN (является базовой для создания информационной сети космодрома).

Таким образом, можно говорить об основных отличиях создаваемой системы от рассматриваемого системного аналога:

принятые при построении автоматизированной системы базовые решения по ее структуре, видам обеспечения и информационной базе существенно отличаются от системы-аналога исходя из специфики космодрома «Восточный», как нового объекта информатизации, а также учитывают развитие информационных технологий;

имеет место существенное развитие научно-методических и нормативных основ, положенных в основу автоматизированной системы, ориентированных на новые разработки в этой области;

в отличие от системного аналога функционал создаваемой системы ориентирован на решение ряда новых задач (обеспечение автоматического получения данных о параметрах состояния наиболее значимых (опасных) объектов наземной космической инфраструктуры, реализацию функций контроля подготовки данных на пуски РКТ, комплексного мониторинга мобильных объектов и персонала космодрома);

при создании автоматизированной системы предполагается использовать перспективные наработки и современные достижения в области разработки распределенных интегрированных информационных систем, специального программного обеспечения и баз данных, ориентированные на информационные потребности органов управления космодрома и структуру создаваемой единой сети информационного обмена космодрома.

Необходимый уровень стандартизации и унификации АСОНБ позволят обеспечить следующие мероприятия, проводимые при ее разработке:

- использование в изделии однотипных аппаратно-программных средств;
- использование однотипных покупных составных частей, однотипных конструктивных решений;
- использование принципа блочно-модульного конструирования, принципов магистрально-модульной компоновки с применением стандартизованных интерфейсов;
- обеспечение условий совместимости технических и программных средств аппаратуры с используемыми персональными электронными вычислительными машинами ПЭВМ;
- использование стандартных и типовых методов и средств испытаний и контроля при использовании и испытаниях аппаратуры;
- использование типовых технологических процессов, стандартных и унифицированных средств технологического оснащения при использовании аппаратуры;
- применение стандартизованных средств измерений;
- разработка технической документации в соответствии со стандартами системы ЕСКД, ЕСПД;
- использование унифицированных программных средств общего назначения (операционных систем, средств мониторинга и управления).

3.3. Организация создания и эксплуатации автоматизированной системы

Организация создания автоматизированной системы предусматривает выполнение следующих мероприятий, рассматриваемых в качестве этапов работы:

- разработка концепции создания автоматизированной системы;
- разработка эскизного проекта;
- разработка технического проекта;
- разработка рабочей конструкторской и программной документации 1 очереди;
- разработка рабочей конструкторской и программной документации 2 очереди;
- изготовление опытного образца, развертывание и проведение испытаний.

После завершения испытаний и доработок автоматизированной системы (при необходимости) планируется ее ввод в эксплуатацию на космодrome «Восточный» с дальнейшей модернизацией и наращиванием.

Эксплуатация автоматизируемой системы будет осуществляться соответствующими службами космодрома «Восточный», специалисты которых пройдут соответствующую подготовку (обучение), при опытной эксплуатации и реализации функций авторского надзора со стороны головного разработчика.

В процессе эксплуатации системы ожидается получение следующего эффекта:

- повышение степени предотвращения нештатных (аварийных) ситуаций при подготовке и проведении пусков на 70–80%;
 - повышение оперативности подготовки данных о техническом состоянии и надёжности ракетно-космической техники и объектов наземной космической инфраструктуры космодрома в 10–12 раз;
 - повышение оперативности решения задач управления в системе эксплуатации космодрома на 50–60%;
 - повышение безопасности транспортировки ракетно-космической техники, опасных и особо важных грузов на 10–15%;
 - сокращение текущих эксплуатационных расходов на 8–10%;
 - возможность сокращения персонала в системе управления эксплуатацией космодрома «Восточный» после завершения опытной эксплуатации на 8–10%;
 - среднестатистический предотвращенный ущерб от нештатных (аварийных) ситуаций до 50–70 млн. руб. в год.
- Ориентировочный срок окупаемости создаваемой системы ожидается до 5 лет.

Список литературы

1. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьёв А. Д., Математические методы в теории надежности, «Наука», 1965.
2. ГОСТ РВ 20.39.303–98.КСОТТ. Требования к надежности. Состав и порядок задания.
3. ГОСТ 27.301–95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
4. ГОСТ РО 1410–001–2009 Системы и комплексы космические. Порядок задания требований, оценки и контроля надежности.
5. Макаров Ю. Н., Соколов Ю. А. Инновационная деятельность ракетно-космической отрасли в части решения технологических проблем обеспечения качества, надежности и безопасности перспективных изделий ракетно-космической техники. М.: НИИ «ЭНЦИТЕХ», 2015. 10 ил., 30 табл., 416 с.

AUTOMATION OF COSMODROME CONTROL PROCEDURES WITH A VIEW TO ENSURE RELIABILITY AND SAFETY OF THE ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY AND GROUND SPACE INFRASTRUCTURE FACILITIES OPERATION

Makarov Mikhail Ivanovich,

Moscow, Russia

Pavlov Sergey Vladimirovich,

Moscow, Russia

Kureev Viktor Dmitrievich,

Moscow, Russia, kureev@niiks.com

Abstract

Paper proves the actuality and relevance of integrative approach to ensuring reliability and safety of rocket and space technology and ground space infrastructure facilities operation. In this view a demand is specified for the development of automated system for ensuring reliability and safety of rocket and space technology and ground space infrastructure facilities operation at the cosmodrome. Given the concept description of this automated system. With Vostochny cosmodrome taken as an example, described the automated system configuration and structure, its novelty and major tasks fulfilled by its development are determined. Considered technical characteristics of suggested automated system, presented the subsystems configuration and tasks performed by them. Paper indicates the problems of subsystems integration and confunction, automated system development and operation management, also assessed the automated system potential efficiency.

Keywords: automated system; reliability; safety; operation; rocket and space technology; ground space infrastructure.

References

1. Gnedenko B. V., Belyaev Yu.K., Solovyov A.D. Mathematical methods in reliability theory. Moscow: Nauka. 1965. 655 p. (In Russian).
2. GOST RV 20.39.303–98.KSOTT. Trebovaniya k nadezhnosti. Sostav i poryadok zadaniya. 1999. 30 p. (In Russian).
3. GOST 27.301–95. Dependability in technics. Dependability prediction. Basic principles. 1999. 19 p. (In Russian).
4. GOST RO 1410–001–2009. Sistemy i komplekсы kosmicheskiye. Poryadok zadaniya trebovaniy, otsenki i kontrolya nadezhnosti. 2009. 32 p. (In Russian).
5. Makarov Yu.N., Sokolov Yu.A. Rocket and space industry innovative activities in the area of solution of technologic problems of quality, reliability and safety of advanced rocket and space technology. Moscow: NII "ENTSITEKH". 2015. 416 p. (In Russian).

Information about authors:

Makarov M. I., Prof., Full Dr., Director of A. A. Maksimov Space Systems Research Institute — branch of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center, A. A. Maksimov Space Systems Research Institute;

Pavlov S. V., Ph.D.(mil.), Deputy Director for scientific research of A. A. Maksimov Space Systems Research Institute — branch of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center, A. A. Maksimov Space Systems Research Institute;

Kureev V. D., Prof., Full Dr., deputy head of complex of A. A. Maksimov Space Systems Research Institute — branch of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center, A. A. Maksimov Space Systems Research Institute.

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН НЕИСПРАВНОСТЕЙ И ОТКАЗОВ ВЫСОКОНАПОРНЫХ ВОДОТРУБНЫХ КОТЛОВ ТИПА КВГ

Закутаев Алексей Иванович,

к.т.н., доцент кафедры газовых турбинных установок Военно-Морского Политехнического Института г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия, zakutaev@bk.ru

Котов Валентин Сергеевич,

адъюнкт кафедры газовых турбинных установок Военно-Морского Политехнического Института г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия, drcatt@rambler.ru

Аннотация

Постановка проблемы: использование на кораблях дальней морской зоны с котлотурбинными энергетическими установками, высоконапорных котлов типа КВГ, требует всестороннего изучения проблемы повышения надежности энергетической установки. Надежность КТЭУ определяется в большей степени надежностью главных котлов. Их надежность в значительной степени определяется состоянием поверхностей нагрева.

При сжигании сернистых мазутов, на поверхностях нагрева котлов образуются шлако-золотые отложения, в результате чего снижаются технико-экономические показатели котельных установок.

Отложения на внешних стенках труб вызывают повышение температуры металла, что может привести к их перегреву и разрыву.

Коррозия труб поверхностей нагрева приводит к появлению разрывов, а эрозия (износ) — к утонению стенок труб, а значит, снижению рабочего ресурса котла.

Формирование отложения на поверхностях нагрева — результат ряда сложных физико-химических процессов. Отложения по температурной зоне образования подразделяются на: отложения на низкотемпературных и на высокотемпературных поверхностях нагрева. Первые — формируются в зоне умеренных и низких температур дымовых газов на поверхностях нагрева, имеющих сравнительно низкую температуру стенки (экономайзеры). Вторые — образуются в зоне высоких температур стенки топочной камеры, пароперегревателей.

Высокотемпературная коррозия обусловлена наличием агрессивных компонентов (кислород, соединения серы, щелочных металлов, ванадия и др.) в газах горения и золе и их влиянием на металл поверхностей нагрева в условиях высоких температур. Поверхность металла под воздействием кислорода, содержащегося в газах горения покрывается тонким оксидным слоем (FeO_2 , Fe_2O_3), который препятствует дальнейшему окислению металла. Все факторы, которые оказывают разрушающее воздействие на этот оксидный слой, вызывают интенсивную коррозию.

Низкотемпературная коррозия происходит при конденсации водяных паров, находящихся в газах горения, на поверхности нагрева по газовой стороне. Поверхность металла покрывается водяной пленкой, содержащей и другие компоненты, которая представляет из себя электролит и вызывает интенсивную электрохимическую коррозию. Наличие в газах горения соединений SO_2 и SO_3 поднимает температуру точки росы до 100–150 °С. Сконденсировавшиеся пары воды вместе с SO_3 образуют на поверхности металла серную кислоту, которая оказывает на металл высокое коррозионное воздействие.

Ключевые слова: высоконапорный котел; поверхности нагрева; коррозия; пароперегреватель; экономайзер; работоспособное состояние; отказ; неисправность.

В настоящее время сохраняется тенденция отдельных государств решать спорные вопросы с помощью сил армии и флота. Военно-политическая ситуация в мире вызывает необходимость в повышении обороноспособности ВС вообще и флота в частности. Геополитические споры последних лет высвечивают возрастающую роль военно-морских сил, например, в Арктической зоне [6]. Возросшее внимание стран мира к Арктике объясняется тем, что данный регион, действительно, является сокровищницей огромного количества природных ископаемых, а также является территорией с точки зрения военной, экономической и многих других областей, стратегической для многих государств, претендующих на высокое положение в мировой политике [1].

Активная деятельность по созданию и развитию элементов арктической инфраструктуры была начата в 2012 г — с этого времени Российский флот регулярно осуществляет арктические походы, решает задачи по обеспечению безопасности в районах прохождения трассы Севморпути, формирует в арктической зоне современную и разветвленную систему освещения воздушной и надводной обстановки [2].

Созданная военная инфраструктура в Арктической зоне обеспечивает надежную защиту интересов России в Арктике, и способствует сохранению паритета и баланса сил в регионе за счет поддержания в нем российского военного присутствия [7]. Военное присутствие в арктической зоне достигается и модернизацией кораблей ВМФ с котлотурбинными энергетическими установками, таких как авианесущий крейсер, атомный ракетный крейсер.

Техническое состояние боевых кораблей одна из составляющих боевой готовности. Так как около 50% всех неисправностей и отказов котлотурбинных энергетических установок приходится на главные котлы, то для кораблей дальней морской зоны, приоритетным вопросом поддержания кораблей в технически исправном состоянии является поддержание работоспособного состояния наиболее слабого ее элемента — высоконапорных котлов.

Современные корабельные водотрубные главные котлы работают при высоких давлениях и температурах перегретого пара на топливе не всегда высокого качества. При маневрировании корабля имеет место частая смена теплового режима элементов под давлением. Кроме того элементы главных котлов находятся под постоянным воздействием агрессивных сред, растворенных в котловой воде и имеющих в составе продуктов сгорания жидкого топлива.

Распределение отказов по элементам высоконапорных котлов типа КВГ представлены в таблице.

Распределение отказов по элементам котлоагрегата

№ п/п	Наименование элемента	Вид (характер отказа)	Отказы, %
1	Пароперегреватель	Нарушение плотности, свищи, предельное провисание труб	61,10
	Экономайзер		29,30
	Испарительные ПН		0,36
2	Кирпичная кладка, изоляция внутреннего кожуха, газовый заслон	Деформация кладки, трещины и отколы огнеупорных соединений. Разрушение асбеста и т.п.	0,71
3	Топочное устройство	Забивание форсунок коксом, разрушение обмуровки, деформация ВНУ	1,78
3	Внутренние части коллекторов	Нарушение плотности крышек, затворов	0,71
4	Котельная арматура коллекторов	Обрывы и трещины	2,47
5	Газоочистительное устройство	Нарушение плотности стенок, щитов	2,86
6	Кожух котла		0,71

Из перечисленных в таблице 1 отказов пристального внимания заслуживают отказы 1-й подгруппы элементов: пароперегревателя, экономайзера, испарительных поверхности нагрева и топочных устройств.

Более половины повреждений пароперегревателей главных котлов типов КВГ 3 и КВГ 2М вызваны коррозионными разъеданиями у корней труб (40 + 100 мм от коллектора) с наружной стороны. Конструктивное несовершенство этого пароперегревателя приводит к тому, что при очистке (обмыве) наружных поверхностей нагрева здесь скапливается вода и трудноудаляемый шлак, включающий сернистые соединения. Четвертая часть повреждений обусловлена таким технологическим дефектом, как недоброкачественная (недолговечная) вальцовка. Остальные случаи неисправностей и отказов пароперегревателей вызваны перегревом металла труб до значений, при которых возможны протекание высокотемпературной коррозии и структурные изменения в металле при длительном воздействии этих температур.

В работах [3, 4] отмечается, что наличие тепловой разверки и циклического колебания температуры металла труб в сочетании с неравномерным загрязнением поверхностей нагрева (рис. 1) обуславливают не только явления тепловой усталости [3], но и интенсифицируют процессы высокотемпературной коррозии [4] в следствии разрушения защитных окисных пленок в виде термоусталостного растрескивания, а также процессы диффузии и самодиффузии, вызывающие разупрочнение металла. Интенсивность коррозионных повреждений пароперегревателя зависит также от марки

стали. Для применяемых в настоящее время сталей (12Х1МФ) такие виды химической коррозии как паровая и газовая не являются преобладающими, так как температурный уровень интенсивного протекания первой ~833К, второй ~ 973К. Наиболее опасна ванадиевая коррозия, имеющая местный характер. В настоящее время механизм высокотемпературной коррозии полностью не выяснен, однако, условия протекания установлены. Так, граничные условия, при которых должно отсутствовать шлакообразование:

- 1) температура наружной поверхности труб меньше 643К,
- 2) температура наружной поверхности труб больше 1153К,
- 3) температура газового потока меньше 1153К.

Эти условия показывают, что практически нельзя избежать шлакования пароперегревателя, т. к. температура перегрева значительного больше 643К, но меньше 1153К. Размещение пароперегревателя в зоне температуры газов ниже 1153К связано с чрезмерным увеличением его размеров, что для корабельного главного котла неприемлемо.

Примерно 2/3 общего числа неисправностей испарительных элементов главных котлов приходится на экранные трубы (рис. 2) и трубы первых двух рядов притопочного (конвективного) пучка, остальная 1/3 — на трубы последних рядов конвективного пучка. Причиной около половины всех повреждений экранных труб и труб притопочного пучка является подшламовая коррозия [3]. Остальные преимущественно являются следствием коррозионного разъедания корней труб с наружной стороны сернистыми соединениями, содержащимися в шламовых накоплениях. Повреждения труб последних рядов конвективного пучка обусловлены той же причиной.

В экономайзерах преобладают два вида повреждений — свищи в змеевиках (около 60% общего числа отказов экономайзеров) и течи в лучках коллекторов. Первые образуются вследствие низкотемпературной коррозии, кислородной коррозии, технологических дефектов в сварных стыках и гйбах труб и наблюдаются в большинстве своем в последней по ходу газов секции. Причиной появления вторых являются дефекты уплотнительного материала. Возможны также повреждения от пульсации воды и гидравлической разверки, приводящих к возникновению переменных температурных и механических напряжений в трубах.

Неисправности форсуночных и воздухонаправляющих устройств связаны обычно с их механическими повреждениями и износом: повышением производительности форсунок в результате увеличения проходного сечения, вызванного эрозионным изнашиванием стенок соплового отверстия и тангенциальных канавок распылителей, что ухудшает качество распыливания топлива; растрескиванием торцевых поверхностей стаканов форсунок в результате их перегрева; деформацией деталей воздухонаправляющих устройств, ухудшающей качество сгорания топлива в топке котла.

Рассмотрим эти процессы более подробно. В настоящее время нет удовлетворительной теории образования золowych отложений, с помощью которой по анализам сжигаемого мазута и его золы можно было бы безошибочно предсказать

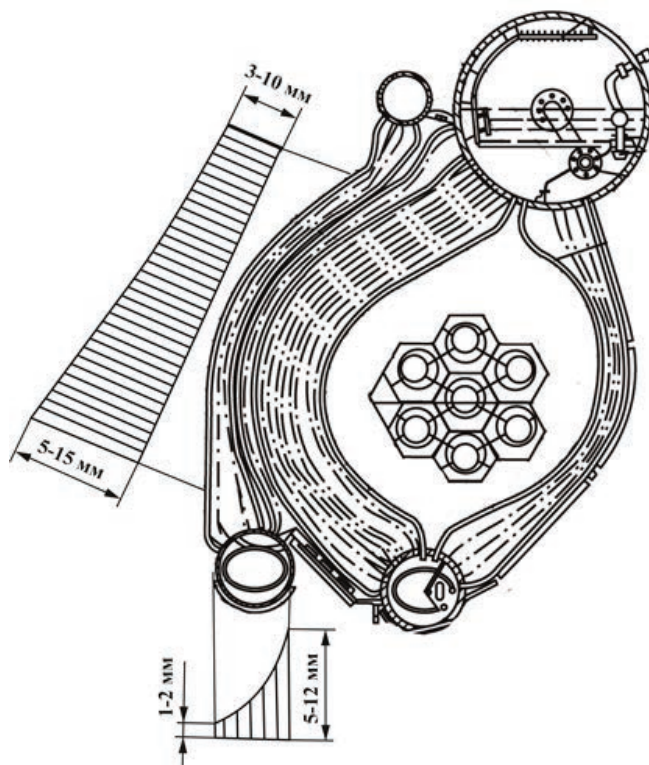


Рис. 1. Характер распределения наружных отложений на поверхностях нагрева в котлах типа КВГ

поведение в газовом тракте минеральной части, определить оптимальную конструкцию и компоновку поверхностей нагрева и условия минимального шлакования поверхностей нагрева главных котлов еще на проектном этапе. Тем не менее у нас и за рубежом накоплен большой опыт сжигания жидких топлив, обобщение которого дает представление о механизме загрязнения котельных труб.

При горении капли мазута происходит ее полимеризация и коксование с образованием коксового остатка [5]. Неорганические соединения, при полном окислении последнего, превращаются в частицы свободной золы с различной температурой плавления. На выходе из топки, как правило, процесс формирования паров V_2O_5 , SO_2 , SO_3 и окислов имевшихся в мазуте металлов завершается. В выходном сечении топки золовые частицы коагулируют, на них конденсируются пары различных окислов. В результате, укрупненные до размеров в несколько микрон частицы с липкой поверхностью переносятся в конвективную шахту. Из-за наличия в составе минеральной части мазутов, кроме V и S солей Na и Ca золовые отложения склонны к образованию твердых, плотно прилегающих к металлу труб образований. Темпы роста таких отложений или совсем не стабилизируются во времени, или стабилизируются крайне медленно [3, 8].

Перенос золовых частиц к поверхности радиационных труб осуществляется в основном за счет сил термофореза и диффузии паров V_2O_5 и Na_2SO_4 (Ca_2SO_4), инерционное осаждение играет меньшую роль [3, 8]. При таком механизме переноса существенное значение имеют размеры частиц (десятые — сотые доли микрон). Этим объясняется очень низкая теплопроводность первичного слоя отложений. Однако, из-за нее температура поверхностного слоя отложений быстро возрастает, что приводит к его размягчению и оплавлению. При этом возрастает доля инерционно осаждающихся золовых частиц. По глубине слоя отложений претерпевает структурные и химические превращения, результатом чего является некоторое возрастание их теплопроводности.

Дальнейшее налипание загрязнений приводит к снижению теплопроводности слоя, что в свою очередь приводит к росту толщины оплавленной пленки на его поверхности. Силы сцепления между пленкой остальным слоем уменьшаются и при достаточно высокой скорости газовый поток может ее сорвать, т. е. работает механизм самообдува, уменьшающий и, стабилизирующий темп роста толщины слоя отложений.

Процесс загрязнения труб конвективных поверхностей нагрева отличается от вышеописанного тем, что здесь, в зоне высоких температур, отложения образуются как за счет диффузии ванадиевых, натриевых, кальциевых соединений, так и за счет инерционного налипания частиц золы. По данным [3] скорость загрязнения за счет инерционного осаждения частиц на первых рядах труб пароперегревателя в несколько раз превышает таковую за счет отложений на них после образования первичного слоя во многом сходна с вышеописанными процессами на радиационной трубе.

В загрязнении хвостовых поверхностей нагрева (экономайзер) основную роль играют крупные частицы и агрегаты частиц золы и сажи, которые переносятся к трубам инерционными силами и зацепляются на них благодаря липкости

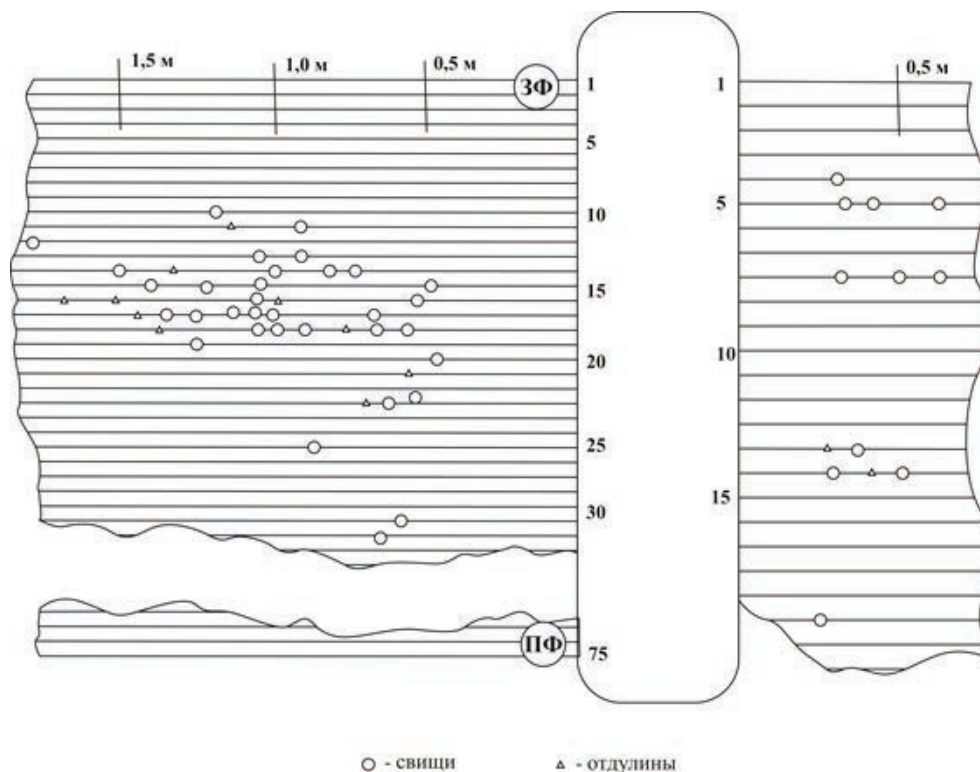


Рис. 2. Схема характерных поражений участков труб радиационных поверхностей нагрева котлов типа КВГ

отложений от сконденсировавшихся паров H_2O и H_2SO_4 . В результате на трубах экономайзеров образуются отложения, которые уплотняются со временем, но практически не претерпевают химических превращений [3].

Лабораторные исследования показали, что интенсивность диффузионного загрязнения не зависит от избытка воздуха и времени пребывания топлива в топке, а определяется, в основном, температурой металла стенки труб. В то же время скорость загрязнения за счет инерционного осаждения частиц сильно зависит от избытка воздуха. Объясняется это тем, что, при $\alpha = 1,15$ и обеспечении высокого качества распыла топлива, количество образующихся инерционных (крупных) частиц много меньше, чем при $\alpha \geq 1,15$.

В результате анализа опыта эксплуатации обследованных главных котлов установлено, что количество отказов из-за образования свищей, трещин и разрывов труб составляет: — для экранных (испарительных) поверхностей нагрева — 25–30% всех износовых отказов; — для пароперегревательных поверхностей нагрева — до 50% (с учетом протечек из-за разгерметизации лючков камер. При этом на долю свищей различного диаметра приходится большая часть зарегистрированных нарушений герметичности пароводяного тракта.

Рассмотрим механизм формирования свищей в трубах поверхностей нагрева. По современным представлениям наиболее вероятной причиной образования свища является коррозия. В зависимости от типа поверхности нагрева, характеристики среды и температурной зоны размещения поверхности нагрева вызываются в первую очередь кислородная, сернистая, подшламовая, низкотемпературная, высокотемпературная коррозия.

В испарительных трубах преобладают сернистая и подшламовая коррозия.

Подшламовая (ракушечная) коррозия развивается на внутренней стороне стенки трубы с высоким удельным теплонапряжением. Образующаяся «ракушка» обладает высокой прочностью. Очаги поражения имеют размеры 15÷60 мм. В результате коррозионного процесса «ракушка» распространяется как по поверхности трубы, так и в глубину металла. Угол раскрытия язвы составляет в среднем 165–175° и практически не меняется во времени. При уменьшении δ_w до значения критического, в смысле прочности при давлении в трубе, и удаления «ракушки», например, в результате химочистки, образуется свищ, диаметр отверстия которого составляет обычно от 1 до 4 мм. Если «ракушка» не удалена, а $\delta_w < \delta_{w \text{ крит.}}$ — наблюдается разрыв трубы в слабом сечении. Образуется свищ с диаметром отверстия до 7÷10 мм. Локальный перегрев металла под «ракушкой» также приводит к разрыву трубы, но диаметр отверстия при этом достигает 30÷40 мм и более. По результатам гидроопрессовок ГК выявлено, что из перечисленных чаще всего обнаруживаются свищи диаметром 7÷8 мм, тогда как диаметром менее 1 мм и более 10 мм — крайне редко.

Сернистая коррозия, поражающая наружную поверхность стенки трубы, является причиной примерно половины обследованных отказов испарительных поверхностей нагрева. Металл поражается в местах, где постоянно имеются золы отложения. Диаметр образующихся свищей обычно составляет 4÷5 мм.

Трубы пароперегревателей подвержены высокотемпературной (ванадиевой) коррозии. Размеры образующихся свищей колеблются от 0,5 до 8 мм, но чаще обнаруживаются свищи диаметром 3÷4 мм.

Кислородная (точечная) коррозия чаще всего поражает внутренние стенки труб экономайзеров. При этом образуются свищи диаметром не более 3÷5 мм.

Низкотемпературная коррозия поражает наружные стенки труб «хвостовых» поверхностей нагрева (экономайзер). Размеры свищей колеблются в пределах от 1÷2 до 10÷15 мм с преобладанием отверстий диаметром 3÷6 мм.

В основном, во всех поверхностях нагрева наиболее вероятно появление свищей с диаметром отверстия до 5 мм.

Установлено также, что диаметр отверстия свища остается постоянным: в течение ~ 10÷15 с в результате эрозивного действия истекающей среда кромки стираются и отверстие увеличивается в 2÷2,5 раза.

Таким образом, чаще всего снижение эффективности главного котла является следствием загрязнения поверхностей нагрева золовыми отложениями, а снижение надежности (безотказности) — следствием нарушения герметичности трактов рабочей среды (свищи в трубах). Отложения продуктов сгорания сернистых мазутов, вызывают коррозионные повреждения и перегрев металла труб главных котлов, что является основной причиной нарушения герметичности циркуляционного контура и перехода котла в неработоспособное состояние.

Список литературы

1. Абрамов В. Россия должна быть готова к возможному конфликту. // Электронный сайт «РИА НОВОСТИ». 07.05.2010. URL http://ria.ru/defense_safety/20100507/231522655.html
2. Цыганок А. Арктика и безопасность России // Электронное издание «Фонд Стратегической Культуры» [Электронный ресурс]. 22.11.2009. URL <http://www.perspektivy.info/print.php? ID=42729>.
3. Денисенко Н. И. Пароперегреватели судовых паровых котлов. Л.: Судостроение. 1970. 184 с.
4. Коррозия и загрязнение поверхностей нагрева паровых котлов при сжигании сернистых мазутов. М.: БНИ ОР-ГРЭС. 1963. 148 с.
5. Геллер З. И. Мазут как топливо. М.: Недра. 1965. 495 с.
6. Морской сборник. 2013. № 2. С. 24–26.
7. Национальная оборона. 2013. № 6. С. 6–8.
8. Головин В. Н. К вопросу о загрязнении экранов паровых котлов // Теплоэнергетика. 1965. № 4. с. 42–47.

ROOT CAUSE ANALYSIS MALFUNCTIONS AND FAILURES OF HIGH-WATER BOILER OF TYPE "KVG"**Zakutaev Aleksej Ivanovich,**

Puskin, St. Petersburg, Russian, zakutaev@bk.ru

Kotov Valentin Sergeevich,

Puskin, St. Petersburg, Russian, drcatt@rambler.ru

Abstract

Statement of the problem — the use of ships far sea zone with a boiler and turbine power plants, high-pressure boilers of type "KVG", requires a comprehensive study of the problem of increasing the reliability of the power plant. Reliability KTEU determined to a greater degree of reliability the main boilers. Their reliability is largely determined by the state of the heating surfaces.

The combustion of sulfur fuel oil for heating surfaces of boilers, slag, ash deposits, thereby reducing technical and economic parameters of boiler plants.

Deposits on the external walls of the pipes cause an increase in temperature of the metal that can lead to overheating and rupture. Corrosion of heating surface tubes leads to fractures and erosion (wear) - a thinning of the pipe wall, and thus reduce the operating life of the boiler.

The formation of deposits on the surfaces of heat - the result of a number of complex physical and chemical processes. The deposits on the temperature zone formation of deposits on the divided low-temperature and high-temperature heating surfaces. The first - zone formed in moderate to low temperature flue gases at the heating surfaces that have a relatively low wall temperature (economizers). Second - are formed in high temperature zone of the combustion chamber wall, superheaters.

High temperature corrosion due to the presence of aggressive components (oxygen, sulfur compounds, alkaline metals, vanadium, etc.) In the combustion gases and ash, and their effect on the metal surfaces of heating at high temperatures. The metal surface is exposed to oxygen contained in the combustion gases is covered by a thin oxide layer (FeO_2 , Fe_2O_3), which prevents further oxidation of the metal. All the factors which have an effect on this razruschayuschee oxide layer to cause intensive corrosion.

Low-temperature corrosion occurs in the condensation of water vapor in the gases are burning on the heating surface on the gas side. The metal surface is covered by a water film, and containing other components, which represents the electrolyte and causing galvanic corrosion intensive. Availability of the compounds in the combustion gases SO_2 and SO_3 raises the dew point temperature of -150 to 100 °C. Condense water vapor with SO_3 to form sulfuric acid, the metal surface, which metal has a high corrosive effect.

Keywords: high-pressure boiler heating surfaces; corrosion superheater; economizer; usable state; failure, failure.

References

1. Abramov V. Rossiya dolzhna byt' gotova k vozmozhnomu konfliktu. Ehlektronnyj sayt «RIANOVOSTI» [Ehlektronnyj resurs]. 07.05.2010. URL http://ria.ru/defense_safety/20100507/231522655.html.
2. Cyganok A. Arktika i bezopasnost' Rossii. Ehlektronnoe izdanie «Fond Strategicheskoy Kul'tury» [Ehlektronnyj resurs]. 22.11.2009. URL <http://www.perspektivy.info/print.php?ID=42729>.
3. Denisenko N. I. Paroperegrevateli sudovyh parovyh kotlov. Leningrad, Sudostroenie. 1970. 184 p.
4. Korroziya i zagryaznenie poverhnostej nagreva parovyh kotlov pri szhiganii sernistyh mazutov. Moscow, BNI ORGREHS. 1963. 148 p.
5. Geller Z. I. Mazut kak toplivo. Moscow, Nedra. 1965. 495 p.
6. Morskoj sbornik. 2013. No. 2. Pp. 24–26.
7. Nacional'naya oborona. 2013. No. 6. Pp. 6–8.
8. Golovin V. N. K voprosu o zagryaznenii ehkranov parovyh kotlov. Teploehnergetika. 1965. No. 4. Pp.42–47.

Information about authors:

Zakutaev A. I., Ph.D., Associate Professor of Naval Engineering Institute Military Training and Research Center of the Navy "Naval Academy";

Kotov V. S. adjunct of Naval Engineering Institute Military Training and Research Center of the Navy "Naval Academy".

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СЛЕДА ТРАЕКТОРИЙ АЭРОБАЛЛИСТИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТАХ ЗЕМЛИ

Гончаренко Владимир Иванович,

д.т.н., доцент, директор Военного института Московского авиационного института
(национального исследовательского университета), г. Москва, Россия, vladimirgonch@mail.ru

Горченко Лев Дмитриевич,

научный сотрудник Военной академии Ракетных войск стратегического назначения
имени Петра Великого, г. Москва, Россия, lev.gorchenko@yandex.ru

Аннотация

Постановка проблемы: планирующие аэробаллистические летательные аппараты позволяют формировать траектории с отклонением от исходной плоскости пуска на несколько тысяч километров в ту или иную сторону. Такая особенность аэробаллистических летательных аппаратов обуславливает необходимость учёта их маневренных возможностей при планировании маршрутов в зоне возможного противодействия. Для решения задачи планирования маршрутов таких летательных аппаратов актуальным являются создание математических моделей их движения и программно-информационных комплексов визуализации следа траекторий аэробаллистических летательных аппаратов. Цель исследования состоит в разработке программного комплекса компьютерного представления следа траекторий аэробаллистических летательных аппаратов с учётом расположения зон контроля противоракетной обороны и области расположения конечных точек маршрута летательного аппарата. В качестве области расположения конечных точек траектории полёта АБЛА в работе рассматривается область земной поверхности, ограниченная контуром, проходящим через точки начала и окончания участков пикирования пучка предельных траекторий АБЛА, прогнозируемых из одной точки, в которой по измерениям были определены фазовые координаты аэробаллистического летательного аппарата. В результате проведенных исследований разработана методика определения и уточнения границ непрерывно изменяемой области расположения возможных точек маршрута аэробаллистического летательного аппарата на электронной карте поверхности Земли. Особенностью предложенной методики является то что с её помощью можно оперативно определять и уточнять границы области расположения возможных точек маршрута, а также последовательно локализовать искомую область при измерениях параметров движения летательного аппарата в нескольких точках его реальной траектории. Для отображения манёвров названных летательных аппаратов с учётом расположения зон контроля воздушного пространства нужна система глобальной визуализации важных точечных, линейных и контурных геоинформационных объектов и маршрутов аэробаллистических летательных аппаратов. Проведенный анализ показал, что такую возможность предоставляет геоинформационная система Google Earth. В среде названной геоинформационной системы в работе представлены примеры отображения трасс и области расположения возможных конечных точек маршрута, а также результаты масштабирования электронной карты земной поверхности с отображённой на ней последовательностью уточнений искомой области для детального её рассмотрения. Для учёта зон контроля воздушного пространства при визуализации следа траекторий аэробаллистических летательных аппаратов разработан алгоритм расчёта геодезических координат границы зоны контроля радиолокационных станций и координат точек круговой зоны поражения зенитных ракет противоракетной обороны. Разработанные методика отображения области расположения конечных точек маршрута летательного аппарата и алгоритм расчёта зон контроля воздушного пространства реализованы в программном комплексе построения следа траекторий. Исследованы особенности построения программного комплекса визуализации следа траекторий аэробаллистических летательных аппаратов на электронных картах Земли.

Ключевые слова: аэробаллистический летательный аппарат; траектория; зона контроля воздушного пространства; визуализация; геоинформационная система.

Введение

В настоящее время интенсивное развитие получили планирующие аэробаллистические летательные аппараты (АБЛА), предназначенные для полёта в верхних слоях атмосферы на межконтинентальные дальности [1, 2]. Лётные качества и маневренные возможности АБЛА позволяют формировать его траектории с отклонением от исходной плоскости пуска на несколько тысяч км в ту или иную сторону [3–8]. Такая особенность АБЛА обуславливает необходимость учёта его маневренных возможностей при планировании маршрутов в зоне возможного противодействия [9–10]. Для решения задачи планирования маршрутов АБЛА актуальным являются создание математических моделей движения АБЛА и программно-информационных комплексов визуализации следа его траекторий.

Имеющийся опыт создания средств визуализации баллистических траекторий летательных аппаратов на электронных картах позволил заключить, что из-за возможности выполнения манёвра АБЛА ранее разработанные средства отображения полётов ЛА и аэрокосмической обстановки требуют дальнейшего совершенствования [11–18].

Для повышения адекватности представления и оперативности решения задач отображения аэрокосмической обстановки и пространственного анализа в настоящее время широко внедряются средства геоинформатики — геоинформационные системы (ГИС) и геоинформационные технологии [19–21]. Как показали результаты анализа имеющихся ГИС для визуального отображения на поверхности Земли траекторий АБЛА и зон контроля средствами противоракетной обороны (ПРО) воздушного пространства, мало пригодны обычные географические, обзорные или топографические карты и даже их плоские электронные аналоги, поскольку с их помощью проиллюстрировать маршруты АБЛА протяжённостью 10–15 тыс. км без существенных искажений и погрешностей затруднительно. Поэтому для построения маршрутов АБЛА с учётом большой их протяжённости, а также для формирования их манёвров с учётом расположения зон контроля радиолокационными станциями (РЛС) воздушного пространства и зон поражения воздушных целей зенитными управляемыми ракетами (ЗУР) противоборствующей стороны нужна система глобальной визуализации важных точечных, линейных и контурных геоинформационных объектов и маршрутов АБЛА.

Проведенный анализ показал, что такую возможность предоставляет геоинформационная система Google Earth (её русифицированная версия — Google — Планета Земля). В рамках такой ГИС в сети Интернет размещены и привязаны к сетке географических координат спутниковые и аэро-фотоизображения всей земной поверхности, причём в ряде регионов — с высоким разрешением. Разрешение отображения на картах объектов во всех крупных городах мира — порядка 15 м/пк, а в крупных городах США — до 0,15 м/пк. Разрешение отображения ландшафта — везде порядка 100 м/пк.

Цель исследования — разработка программного комплекса компьютерного представления следа траекторий АБЛА с учётом расположения зон контроля ПРО и области расположения конечных точек (ОРКТ) маршрута АБЛА с использованием ГИС Google Earth.

Для достижения цели исследования требуется решить следующие задачи:

- разработать методику отображения области расположения конечных точек маршрута АБЛА
- разработать алгоритмы отображения маршрутов АБЛА с учётом зон контроля ПРО;
- разработать программный комплекс построения следа траекторий АБЛА.

1. Отображение области расположения возможных конечных точек маршрута АБЛА

Траектория АБЛА состоит из маршевого участка и участка пикирования. Определить точку начала пикирования АБЛА неизвестной принадлежности с высокой точностью не представляется возможным. Однако можно определить её по критерию целесообразности начала пикирования, т. е. по наступлению момента, когда высота траектории снизится до величины, ниже которой плотность атмосферы существенно снижает скорость АБЛА, что потом, при пикировании, неминуемо приводит к движению с дозвуковыми скоростями, опасными из-за доступности АБЛА всем средствам ПВО.

В качестве *области расположения конечных точек траектории* полёта АБЛА можно принять область земной поверхности, ограниченную контуром, проходящим через точки начала и окончания участков пикирования пучка предельных траекторий АБЛА, прогнозируемых из одной точки, в которой по измерениям были определены фазовые координаты АБЛА. *Предельными траекториями* будем считать траекторию без манёвра и с предельно допустимыми боковыми манёврами в ту или другую сторону от центральной, безманевренной траектории. Совокупность трёх предельных траекторий назовём *пучком траекторий*.

Точками начала пикирования будем считать точки прогнозируемых траекторий с высотами 30 км, а точками окончания пикирования будем считать точки на тех же траекториях с высотами ~25 км с добавлением протяжённости участка пикирования с высоты 25 км.

Таким образом, условно протяжённость участка пикирования АБЛА будет состоять из части трассы маршевого участка между точками с высотами 30 и 25 км и протяжённости участка пикирования с высоты 25 км, который однозначно определяется высотой точки начала пикирования и углом наклона линии пикирования к местному горизонту. Энергетически выгодными и, следовательно, вероятными углами наклона линии пикирования к местному горизонту можно считать углы, превышающие 45 градусов. Приняв значение 45° за граничное для всех возможных углов наклона, получаем оценку протяжённости линии расположения возможных конечных точек каждой прогнозируемой траектории АБЛА в виде выражения

$$\Delta L_{\text{км}} \approx \left| \vec{r}(h = 30\text{км}) - \vec{r}(h = 25\text{км}) \right| + 25\text{км},$$

а опорными точками для построения области расположения всех конечных точек маршрута АБЛА будем считать точки трасс прогнозируемых предельных траекторий с координатами $\vec{r}_i(h=30\text{км})$, $i=1,2,3$ — номера траекторий и $\vec{r}_i(h=0) = \vec{r}_i(h=30\text{км}) + \Delta L_{\text{пнк.д}} \cdot \Delta \vec{r}_i$, где $\Delta \vec{r}_i$ — единичный вектор разности векторов $\vec{r}(h=25\text{км}) - \vec{r}(h=30\text{км})$.

Итак, представим теперь всю цепочку действий и визуализации области расположения возможных конечных точек маршрута АБЛА неизвестной принадлежности.

1. По траекторным измерениям с наземного пункта наблюдения за воздушным пространством или из космоса определяются координаты \vec{r}_A и скорость \vec{V}_A АБЛА неизвестной принадлежности в какой-либо точке его траектории и они принимаются в качестве начальных условий движения АБЛА в задаче прогнозирования его возможных траекторий:

$$\vec{r}_A = \vec{r}_0(\tau_0) \text{ и } \vec{V}_A = \vec{V}_0(\tau_0).$$

2. С этими начальными условиями трижды: интегрируются уравнения движения АБЛА: 1-й раз без бокового манёвра, а 2-й и 3-й — с боковыми предельно допустимыми односторонними манёврами сначала в одну, а потом и в другую стороны от исходной вертикальной плоскости, зафиксированной в момент τ_0 . В качестве управляющих параметров удобно принять пространственный угол атаки α_n и угол аэродинамического крена φ [8]. В качестве требуемого текущего значения угла α_n при движении с боковыми манёврами принимается текущее максимально допустимое значение $\alpha_n^{\text{TP}} = \alpha_{\text{п.доп}}(M, h)$, а текущее требуемое значение угла аэродинамического крена φ^{TP} определяется из выражения, соответствующего равносному движению АБЛА [8]

$$\frac{Y(\alpha_{\text{п.доп}}, M, h) \cos \varphi^{\text{TP}}}{m \cdot g_T(\vec{r})} = 1,$$

где $Y(\alpha_{\text{п.доп}}, M, h)$ — подъёмная аэродинамическая сила;

m — масса АБЛА;

$g_T(\vec{r})$ — ускорение силы тяжести.

В векторном виде в относительной системе отсчёта, связанной с Землёй, уравнения движения АБЛА имеют вид: где m — масса АБЛА;

$$\begin{cases} \dot{\vec{V}} = \frac{1}{m}(\vec{R}^{\text{aэp}} + \vec{G} + \vec{F}^{\text{нрн}} + \vec{F}^{\text{Кор}}), \\ \dot{\vec{r}} = \vec{V}, \end{cases}$$

$\vec{R}^{\text{aэp}}$ — вектор полной аэродинамической силы, причем $\vec{R}^{\text{aэp}} = \vec{R}^{\text{TP}} + \vec{R}^{\text{сопp}}$;

$\vec{R}^{\text{TP}}(\tau) = \vec{R}^{\text{TP}}(\alpha_{\text{п.доп}}, \varphi^{\text{TP}}, \tau)$ — требуемая часть полной аэродинамической силы,

$\vec{R}^{\text{сопp}}$ — оставшая часть полной аэродинамической силы, т.е. сила сопротивления движению $\vec{R}^{\text{сопp}} = \vec{Q}(\alpha_{\text{п.доп}}, M, h)$ — лобовая аэродинамическая сила;

τ — текущее время на прогнозируемом участке траектории АБЛА, $0 \leq \tau \leq \tau_k$ ($h = h_k$);

$\vec{G} = \vec{G}(\vec{r}(\tau))$ — сила притяжения Земли;

$\vec{F}^{\text{нрн}} = -m(\vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r})$ — переносная сила инерции, где $\vec{\omega}$ — угловая скорость вращения Земли;

$\vec{F}^{\text{Кор}} = -2m(\vec{\omega} \times \vec{V})$ — сила инерции Кориолиса,

$\vec{\omega}$ — вектор угловой скорости вращения Земли.

3. В процессе интегрирования уравнений движения определяются и фиксируются геодезические (сферические) координаты упомянутых выше особых точек трассы АБЛА, принимаемых за опорные при последующем построении области расположения всех возможных конечных точек маршрута АБЛА.

4. Опорные точки наносятся на электронное отображение поверхности Земли и при соединении их плавной замкнутой линией образуют контур, ограничивающий искомую область.

На рис. 1 отображены трассы прогнозируемых из точки А предельных траекторий и соответствующая им версия области расположения возможных конечных точек маршрута АБЛА.

5. В процессе слежения за движением АБЛА может быть несколько траекторных определений его фазовых параметров и, соответственно, несколько вариантов (версий) области расположения конечных точек маршрута. Понятно, что чем ближе к реальной конечной точке маршрута произведена засечка параметров движения АБЛА, тем меньше будут размеры прогнозируемой области расположения возможных точек падения АБЛА. Однако довести прогноз до одной конкретной точки или до очень малой величины искомой области не удастся. При каждом прогнозировании необходимо учитывать ещё и время, остающееся до окончания полёта АБЛА из наблюдаемой точки. Последнее уточнение области расположения

конечных точек маршрута должно оставлять достаточно времени для принятия необходимых решений и для подготовки достойной встречи данного НЛЮ.

На рис. 2 отображена последовательность локализации искомого объекта при измерениях параметров движения АБЛА в нескольких точках его реальной траектории, конкретно в точках *A*, *B* и *C*. Легко заметить, что уточнение границ области возможных конечных точек маршрута АБЛА реализует «принцип матрёшки» — последовательности вложений пучков прогнозируемых траекторий внутрь предыдущих, а некоторые видимые огрехи в соблюдении «принципа матрёшки» объясняются только погрешностями определения соответствующих начальных условий движения АБЛА в задачах прогнозирования его траекторий.

Необходимую оперативность определения и уточнения границ непрерывно изменяемой области расположения возможных точек падения АБЛА обеспечивает компьютерная программа расчёта траекторий и отображения маршрутов АБЛА на электронной карте поверхности Земли. Для отображения земной поверхности в данной задаче используется



Рис. 1. Отображение трасс и области расположения возможных конечных точек маршрута АБЛА



Рис. 2. Пример последовательного уточнения области расположения конечных точек маршрута АБЛА

ГИС *Google Earth*, обеспечивающая достаточно высокую точность определения координат точек и достаточную информативность отображаемого участка земной поверхности [22]. На вход в компьютерную программу поступают полученные по результатам измерений фазовые координаты АБЛА в некоторой точке траектории и признак варианта управления его движением (наличие или отсутствие бокового манёвра) в задаче прогноза. На выходе — координаты точек трассы АБЛА, которые преобразуются и привязываются к системе координат, принятой при отображении объектов земной поверхности на экране компьютера. Отображать участки земной поверхности с нанесённой областью конечных точек маршрута АБЛА можно в различных ракурсах и масштабах. На рис. 3 представлен пример масштабирования электронной карты земной поверхности с отображённой на ней последовательностью уточнений искомой области для детального её рассмотрения.

Прогнозирование возможных траекторий АБЛА с целью создания эффективного инструмента оперативного определения располагаемой области точек прицеливания АБЛА осуществлено с использованием математической модели движения АБЛА при предельно допустимых боковых манёврах АБЛА [6].

Предложенная методика определения области расположения конечных точек маршрута АБЛА на основе прогноза пучка предельных траекторий АБЛА и привязки рассчитанных координат опорных точек к электронному отображению поверхности Земли позволит оперативно оценивать траектории АБЛА.

2. Алгоритм определения маршрутов АБЛА с учётом зон контроля ПРО

Упрощённо зона контроля воздушного пространства РЛС представляет собой воздушное пространство куполообразной формы с основанием в виде окружности с центром в точке расположения РЛС и радиусом, равным дальности обнаружения конкретной воздушной цели. В ПВО дальность обнаружения (дальность радиолокации в метровом или дециметровом диапазоне) РЛС принято ограничивать дальностью прямой видимости $D_{пв}$ и рассчитывать по эмпирической формуле

$$D_{пв} = 3,57 \cdot (\sqrt{h_a} + \sqrt{H_{ц}}), \tag{1}$$

где $D_{пв}$ — в километрах, а высота антенны h_a и высота цели $H_{ц}$ — в метрах.

Если учесть некоторое искривление луча радиолокатора за счёт рефракции атмосферы, то в выражение (1) вместо коэффициента 3,57 следует поставить коэффициент 4,12, что увеличит дальность обнаружения цели примерно на 15%.

Расчёты показывают, что при средней высоте полёта АБЛА порядка 50 километров и расположении РЛС противника в среднем на высоте над уровнем моря порядка 1 километра дальность обнаружения цели и, следовательно, радиус зоны контроля воздушного пространства РЛС противника, составляет примерно 850–900 километров. Зона контроля РЛС в БД задаётся геодезическими координатами РЛС, $B_{РЛС}$, $L_{РЛС}$, $H_{РЛС}$, а радиус зоны рассчитывается по формуле (1), где высоты антенны РЛС приближённо можно считать равной высоте РЛС над уровнем моря

$$h_a \approx H_{РЛС}$$

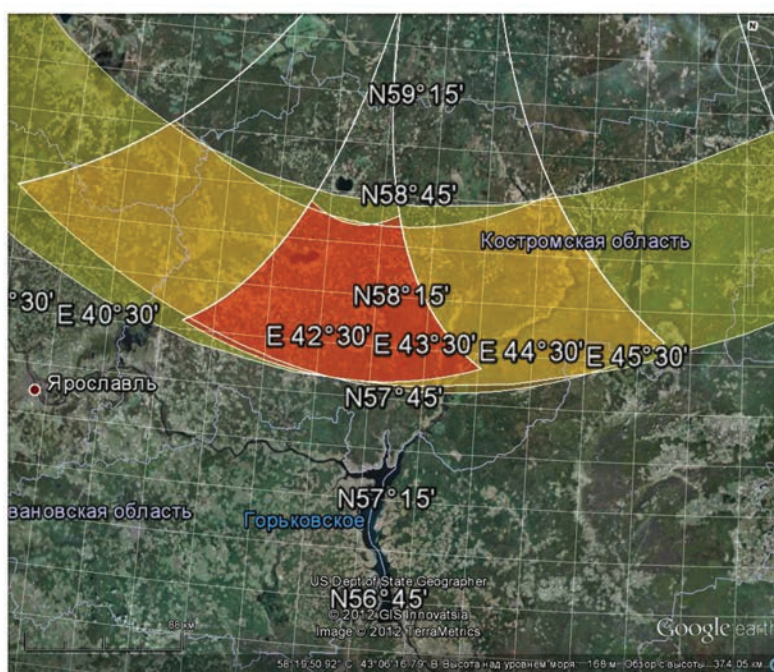


Рис. 3. Пример локализации области расположения конечных точек маршрута АБЛА

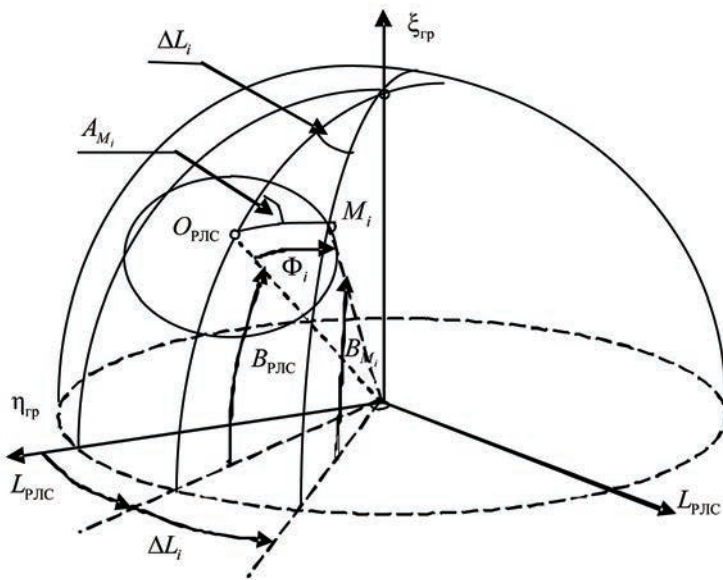


Рис. 4. Схема определения сферических координат B_{M_i}, L_{M_i} точек M_i кругового контура

Значения широт точек M_i определяются по теореме косинусов для сторон сферического треугольника $O_{РЛС}PM_i$:

$$B_{M_i} = \frac{\pi}{2} - \arccos \left(\cos \left(\frac{\pi}{2} - B_{РЛС} \right) \cos \Phi_{РЛС} + \sin \left(\frac{\pi}{2} - B_{РЛС} \right) \sin \Phi_{РЛС} \cos A_{M_i} \right),$$

где $\Phi_{РЛС} = R_{РЛС}/R_3$, R_3 — радиус Земли;

$A_{M_i} = \Delta A \cdot i$, ($i=0, 1, 2, \dots, N$) — алгоритм задания азимутов точек M_i .

Приращения долгот точек $M_i - L_i$ — определяются по теореме синусов из того же сферического треугольника $O_{РЛС}PM_i$

$$\Delta L_i = \arcsin \left(\frac{\sin \Phi_{РЛС} \cdot \sin A_{M_i}}{\sin \left(\frac{\pi}{2} - B_{M_i} \right)} \right), \quad (2)$$

и, следовательно, долготы точек M_i определяются выражением:

$$L_{M_i} = L_{РЛС} + \Delta A. \quad (3)$$

Таким образом, учёт зон контроля воздушного пространства РЛС противоположной стороны возможен при визуализации этих зон на электронном отображении поверхности Земли, предоставляемом ГИС Google-Планета Земля (см. рис. 5). Для этого в базе данных по ПРО заблаговременно вносятся только геодезические координаты РЛС противоположной стороны $B_{РЛС}, L_{РЛС}, H_{РЛС}$. Расчёт данных для определения границ зон контроля РЛС производится по формулам (2) и (3) с записью результатов расчёта в форме специальных таблиц и выводом файла на рабочее поле монитора компьютера. Далее с помощью собственного преобразователя ГИС, заранее выведенного также на рабочее поле, файл с координатами зоны РЛС в формате.txt преобразуется в формат KML [22] с названием, вписываемым пользователем в соответствующую строку окна преобразователя. Для графического представления из этого файла зоны контроля воздушного пространства РЛС в виде кругового контура на поверхности Земли необходимо щёлкнуть левой кнопкой «мыши» по ярлычку преобразованного файла. Этим даётся сигнал к началу работы ГИС с целью представить графическое отображение контура на соответствующей части земной поверхности. Ракурс обзора и масштаб любого элемента полученного отображения по желанию пользователя легко изменяются с помощью подпрограмм, управление которыми в правом верхнем углу экрана осуществляется с помощью значков «вверх», «вниз», «вправо», «влево», изменяющих положение изображения Земли, а вращение Земли либо в одну сторону, либо в другую сторону — другими значками. Двигая колесо «мыши», можно управлять масштабом отображения.

Границу зоны РЛС можно нанести на электронную карту поверхности Земли в ГИС Google-Планета Земля [22] в виде окружности, определив предварительно геодезические координаты центра и точек окружности, а затем представив их в форме координат последовательности точек некоторого «пути». Алгоритм расчёта геодезических координат границы зоны контроля РЛС, как и координат точек круговой зоны поражения ЗУР, получим с помощью рис. 4.

На рис. 4 граница зоны контроля РЛС представлена в форме окружности радиуса $R_{РЛС} \approx D_{пв}$ с центром в точке $O_{РЛС}$. Положение любой точки на окружности M_i определяется её азимутом A_{M_i} , измеряемым из точки $O_{РЛС}$, и радиусом окружности $R_{РЛС} = D_{пв}$, а положение той же точки на поверхности шарообразной модели Земли — геодезическими (сферическими) координатами B_{M_i}, L_{M_i} . Разбив окружность на N участков точками M_i , и задавая последовательно азимуты этих точек A_{M_i} в диапазоне от 0° до 360° с некоторым шагом ΔA , определим их геодезические координаты B_{M_i}, L_{M_i} из сферических треугольников $O_{РЛС}PM_i$ по формулам сферической тригонометрии.

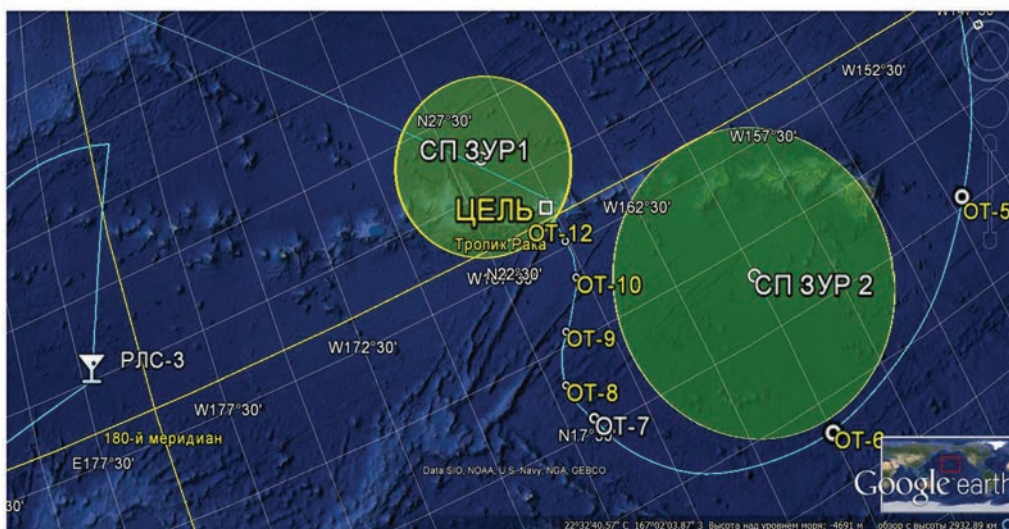


Рис. 5. Пример отображения зон контроля воздушного пространства РЛС

3. Особенности построения программного комплекса визуализации следа траекторий АБЛА

Для отображения следа траекторий АБЛА, зон контроля воздушного пространства наземными РЛС и границ зон поражения средствами ПРО и ПВО используются внешние файлы с соответствующими данными — последовательностями геодезических координат точек, преобразованных в формат KML. В этом международном формате отображена поверхность всей Земли и все нанесённые на неё объекты в ГИС Google-Планета Земля. Формат KML представляет собой открытый стандарт кодирования, официально называемый OpenGIS (или OGC KML). Преобразование исходных данных в формат KML возможно различными средствами, в том числе и внутренним преобразователем ГИС Google-Планета Земля из форматов с расширениями *.txt* и *.doc*, что и было реализовано в рамках разработанного программного комплекса отображения зон контроля ПРО и маршрутов АБЛА.

Для визуализации геоинформационных объектов (траекторий, трасс, маршрутов, точек старта и цели и других) используется трёхмерная модель всей земной поверхности с учётом высоты рельефа и строений над уровнем моря. Для перемещения взгляда наблюдателя в любую точку земного шара предусмотрено управление поворотом планеты в любом направлении. Масштаб отображения поверхности Земли можно плавно изменять по своему усмотрению от общего обзора всей планеты до деталей рельефа любого региона и даже с определением расположения отдельных домов в больших городах с учётом пролегающих траекторий АБЛА.

При отображении траекторий АБЛА и других объектов на экране монитора высвечиваются названия стран, штатов, населённых пунктов, водоёмов, железных и автомобильных дорог и др., а геодезические координаты точки, указанной курсором, — широта, долгота, высота — с точностью до десятых долей угловой секунды и единиц метров автоматически определяются и приводятся возле нижней границы изображения на экране.

При использовании ГИС Google-Планета Земля в интересах отображения маршрутов АБЛА с учётом расположения средств ПРО создаются в любом месте на поверхности Земли свои метки, накладываются более детальные и свежие изображения объектов поверх спутниковых, выполненных ранее. Имеется возможность нанесения на поверхность Земли различных контуров и путей из одной точки в другую с измерением расстояний между точками. По усмотрению пользователя различные пути, контуры и новые объекты могут выделяться цветом и толщиной линий, а надписи — масштабом шрифтов.

В разработанном программном комплексе предложено при планировании маршрутов АБЛА всю известную информацию о зонах ПРО, а это координаты РЛС и стартовых позиций (СП) ЗУР объектовой ПРО, а также типы и ЛТХ этих ЗУР, хранить в специализированной БД планирования применения АБЛА. И более того, зоны контроля воздушного пространства РЛС и зоны поражения ЗУР, места расположения которых известны на данный момент, — должна быть уже визуализированы на оперативных картах местности, т. е. на электронном отображении поверхности Земли, получаемом с помощью ГИС, например, ГИС Google-Планета Земля.

Начальными данными для разработанного программного комплекса являются опорные точки крайних трасс АБЛА, левой и правой, которые ограничивают зону ОРКТ. Также имеются данные о точках внутри ОРКТ. Чтобы построить такую область необходимо отобразить левую и правую трассы на электронной карте поверхности Земли, а затем рассчитать площадь между ними. Для построения левой и правой траектории АБЛА в виде гладких кривых применена интерполяция Spline второго порядка [23]. Для этого были реализованы программные модули в среде Wolfram Mathematica — *Spline_Middle_Ax*, *Spline_Little_Ax*. Далее выводится в файл N точек на полученной кривой в формате долгота, широта, высота.

В ходе исследований было выявлено, что применение сплайнов для отображения следа траекторий в виде кривых для больших дальностей полёта АБЛА не дают удовлетворительный результат. Поэтому для построения следа таких

траекторий были выбраны кривые Безье [23]. Для построения кривых Безье разработаны программные модули в среде Wolfram Mathematica — Big_Ax_New, Middle_Ax_New, Little_Ax_New.

Заключение

Планирующие аэробаллистические летательные аппараты, позволяют формировать траектории с отклонением от исходной плоскости пуска на несколько тысяч километров в ту или иную сторону. Такая особенность АБЛА обуславливает необходимость учёта их маневренных возможностей при планировании маршрутов в зоне возможного противодействия. В результате проведенных исследований разработана методика определения и уточнения границ непрерывно изменяемой области расположения возможных точек маршрута АБЛА на электронной карте поверхности Земли. Особенностью предложенной методики является то что с её помощью можно оперативно определять и уточнять границы области расположения возможных точек маршрута, а также последовательно локализовать искомую область при измерениях параметров движения летательного аппарата в нескольких точках его реальной траектории. Разработанная методика положена в основу построения программного комплекса визуализации следа траекторий аэробаллистических летательных аппаратов на электронных картах Земли с учётом зон контроля воздушного пространства.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16–29–04326 офу_м.

Список литературы

1. Сиротин Е. С., Подгорных Ю. Д. Гиперзвуковые аппараты // Военно-промышленный курьер. 2003. № 6 (13). URL: <http://www.vko.ru>.
2. Красильщиков М. Н., Сыпало К. И. Терминальное программное управление высокоскоростным беспилотным летательным аппаратом в атмосфере // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2011. № 5. С. 131–142.
3. Горшенин В. Ю. Синтез оптимальных траекторий движения гиперзвуковых летательных аппаратов в зонах риска // Известия ЮФУ. Технические науки. 2003. № 3. С. 46–51.
4. Жанжерев Е. Г., Васкецова М. В. Алгоритмы управления полетом аэробаллистического летательного аппарата // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2008. № 1. С. 92–94.
5. Миляков Д. А., Крайлюк А. Д. Управление инерционными летательными аппаратами при перехвате интенсивно маневрирующих воздушно-космических целей // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск: Перспективные системы и задачи управления. 2015. № 1 (162). С. 215–228.
6. Гончаренко В. И., Горченко Л. Д. Оценка области расположения конечных точек маршрута гиперзвукового летательного аппарата // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 2. С. 3–5.
7. Гончаренко В. И., Горченко Л. Д. Формирование маневренных участков траекторий аэробаллистических летательных аппаратов: труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014, 16–19 июня 2014 г. М.: ИПУ им. В. А. Трапезникова РАН, 2014. С. 7405–7412. URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/Start.pdf>.
8. Гончаренко В. И., Горченко Л. Д. Выбор конфигурации манёвра планирующего аэробаллистического летательного аппарата // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск: Перспективные системы и задачи управления. 2016. № 1 (174). С. 6–18.
9. Способ формирования спиралевидного движения планирующего летательного аппарата относительно опорной траектории: пат. на изобр. 2306593 Рос. Федерация / Щепетильников С. Р., Овчинников М. В. № 2005134997/28; заявл. 11.11.2005; опубл. 20.09.2007. Бюл. № 28.
10. Способ управления скоростным воздушным объектом в зоне опасности поражения: пат. 2158697 Рос. Федерация / Таланов Б. П. № 99107703/28; заявл. 07.04.1999; опубл. 10.11.2000.
11. Беневольский С. В., Гончаренко В. И., Гревцев В. В., Кочетов А. В., Четин А. И., Шустров Ю. М. Программный комплекс визуализации маневрирования баллистических ракет // Проблемы создания перспективной авиационной техники: сб. науч. ст. М.: Изд-во МАИ, 2003. С. 67–70.
12. Гончаренко В. И. Методика отображения и оценки параметров видимости траекторий баллистических ракет // Вестник Московского авиационного института. 2009. Т. 16. № 6. С. 135–142.
13. Беневольский С. В., Гончаренко В. И., Колосов К. С., Паненко В. С. Программный комплекс отображения и оценки параметров видимости траекторий ракет // Проектно-конструкторские и производственные вопросы создания перспективной авиационной техники: сб. науч. статей. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2009. С. 321–326.
14. Гончаренко В. И., Попов А. В., Простов Ю. С. Экспресс-расчёт зон досягаемости баллистических ракет и их отображение // Модернизация и инновации в авиации и космонавтике: сб. науч. статей; [под ред. проф. Ю. Ю. Комарова]. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. С. 16–19.
15. Гончаренко В. И., Шестаков П. А. Выбор форм представления зон досягаемости баллистическими объектами на картографической основе // Психолого-педагогический журнал Гаудеамус. Тамбов: Изд-во Тамбовский государственный университет им. Г. Р. Державина, 2010. № 2. С. 343–345.

16. *Василенко В. В., Гончаренко В. И.* Разработка программно-информационного комплекса для визуализации областей земной поверхности, достигаемых баллистическими ракетами // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 7. С. 3–12.
17. *Василенко В. В., Гончаренко В. И., Шестаков П. С.* Построение специализированных картографических проекций и зон досягаемости баллистическими объектами // Вестник Московского авиационного института. Т. 18. № 6. С. 12–24.
18. *Василенко В. В., Гончаренко В. И., Мареев Ю. А.* Программный комплекс расчета параметров взаимосвязи пространственно распределенных объектов, территорий и данных // Проблемы информатики. Новосибирск: Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН. 2012. № 1 (13). С. 73–79.
19. *Миляков Д. А.* Геоинформационный метод представления, отображения и оценки обстановки в ближней морской зоне // автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб.— Петродворец: Военно-морской ин-т радиоэлектроники им. А. С. Попова. 2006. 21 с.
20. *Шляхтина С.* Обзор интерактивных карт Всемирной сети // КомпьютерПресс: спецвыпуск «Мир Интернет». 2006. № 2. URL: <http://www.compress.ru/article.aspx?id=14787&iid=703>.
21. *Гончаренко В. И., Хилков А. А.* Построение электронных карт для представления данных о зонах досягаемости летательными аппаратами // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2015. № 3. С. 88–93.
22. Программы Google Планета Земля. URL: <http://www.google.com/earth>.
23. *Формалев В. Ф., Ревизников Д. Л.* Численные методы. М: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 400 с.

VIZUALIZATION OF TRACE PATHS OF AEROBALLISTIC AERIAL VEHICLES ON ELECTRONIC MAPS OF THE EARTH

Goncharenko Vladimir Ivanovich,
Moscow, Russia, vladimirgonch@mail.ru

Gorchenko Lev Dmitrievich,
Moscow, Russia, lev.gorchenko@yandex.ru

Abstract

Problem: planning aeroballistic aircraft allow to form a paths with deviation from the initial start-up plane for a few thousand kilometers in either direction. This feature of aeroballistic aircrafts explains the need to consider their maneuvering capabilities when planning routes in the area of possible resistance. To solve the problem of route planning of aircrafts to create of mathematical models of movement, software and information systems aeroballistic of aircraft trajectories trace visualization. The purpose of the research is to develop a computer software system represented by the following aeroballistic trajectories of aircraft taking into account the location of the zones of control and missile defense area location end points of the route of the aircraft. In this paper as the field of location endpoints of ABPA flight path area of the Earth's surface bounded by passing through the point of beginning and end of the dive sites of the beam limiting trajectories of ABPA, projected from a single point at which the phase coordinates aeroballistic aircraft were determined from measurements are considered. As a result of researches the method of determining and clarifying the boundaries continuously variable region of possible location waypoints aeroballistic aircraft on an electronic map of the Earth's surface. A feature of the proposed method is that it can help to quickly identify and clarify the boundaries of the area of location of potential waypoints and consistently locate the desired area with the measurements of the aircraft motion parameters at several points of its real path to display the maneuvers these aircrafts taking into account the location of the control zones airspace need a system of global visualization important point, line and contour of geographic information objects and routes aeroballistic aircraft. The analysis showed that this opportunity provides a Geographic Information System Google Earth. In an environment called a geographic information system in the display are examples of routes and areas of location of possible end points of the route, as well as the results of the electronic zoom map the Earth's surface with it mapped on successive refinement of the desired area for its detailed consideration. To account for areas of control airspace aeroballistic aircrafts track paths visualization algorithm of calculation of geodetic coordinates of the border radar control zone and coordinate points of the circular zone of defeat anti-aircraft missiles missile defense. The developed method of display area location end points of the route of the aircraft and an algorithm for calculating the airspace control zones implemented in the software package of constructing the trajectories trace. The features of the construction of the complex visualization software trace paths aeroballistic aerial vehicles on electronic maps of the Earth.

Keywords: aeroballistic aircraft; trajectory; control area airspace; visualization; Geographic Information System.

References

1. Sirotin E.S., Podgornykh Y.D. Hypersonic vehicles. *Military-Industrial Courier*. 2003. №6 (13). URL: <http://www.vko.ru>.
2. Krasil'shchikov M.N., Sipalo K.I. The terminal program control of high-speed unmanned aircraft in the atmosphere. *Izv. Russian Academy of Sciences. Theory and control systems*. 2011. No. 5. Pp. 131–142.
3. Gorshenin V.Y. Synthesis of optimal trajectories of hypersonic aircraft movement in the areas of risk. *Proceedings of the SFU. Technical sciences*. 2003. No. 3. Pp. 46–51.
4. Zhanzherov E.G., Vasketsova M.V. Flight control algorithms of aeroballistic aircraft. *Herald of Izhevsk State Technical University*. 2008. No. 1. Pp. 92-94.
5. Milyakov D.A., Kraylyuk A.D. The control of inertial aircraft during interception of intensive maneuvering aerospace purposes. *Proceedings of the SFU. Technical sciences. Special Issue: Future systems and control tasks*. 2015. No. 1 (162). Pp. 215–228.
6. Goncharenko V.I., Gorchenko L.D. Estimation of field location route endpoints of hypersonic aircraft. *Herald of computer and information technologies*. 2013. No. 2. Pp. 3–5.
7. Goncharenko V.I., Gorchenko L.D. Formation of maneuvering areas of aeroballistic trajectories of aircraft: the works of XII All-Russia meeting on governance VSPU-2014, 16-19 June 2014. Moscow, Institute of Control named after V.A. Trapeznikov RAS, 2014. P. 7405-7412. URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/Start.pdf>.
8. Goncharenko V.I., Gorchenko L.D. Configuration choices maneuver of planning aeroballistic aircraft. *Proceedings of the SFU. Technical sciences. Special Issue: Future systems and control tasks*. 2016. No. 1 (174). Pp. 6–18.
9. A method of forming a spiraling movement planner of the aircraft relative to a reference trajectory: Pat. on fig. 2306593 Ros. Federation / Schepetilnikov S.R., Ovchinnikov M.V. № 2005134997/28; appl. 11.11.2005; publ. 20.09.2007. No. 28.
10. A method of control of high-speed air object in the danger zone of destruction: Pat. 2158697 Rus. Federation / Talanov B.P. № 99107703/28; appl. 07/04/1999; publ. 10.11.2000.
11. Benevolsky S.V., Goncharenko V.I., Grevtsev V.V., Kochetov A.V., Chetin A.I., Shustrov Y.M. Program complex of visualization maneuvering of ballistic missiles. *Problems of creation of perspective aviation technology: sat. scientific. art.* Moscow, Publishing house of the Moscow Aviation Institute. 2003. Pp. 67–70.
12. Goncharenko V.I. Method of display and estimation of options appear trajectories of ballistic missiles. *Bulletin of the Moscow Aviation Institute*. 2009. Vol.16. No. 6. Pp. 135–142.
13. Benevolsky S.V., Goncharenko V.I., Kolosov K.S., Panenko V.S. Program complex mapping and evaluation parameters of the trajectories of missiles visibility. *Design and engineering and production issues of creation of perspective aviation technology: sat. scientific. articles.* Moscow. Publishing House of the MAI-PRINT, 2009. Pp. 321–326.
14. Goncharenko V.I., Popov A.V., Prostov Y.S. Quick calculation of zones of reach of ballistic missiles and their display. *Modernization and innovation in aviation and astronautics: sat. scientific. articles; [Ed. prof. Y.Y.Komarov]*. Moscow. Publishing House of the MAI-PRINT, 2010. Pp. 16–19.
15. Goncharenko V.I., Shestakov P.A. Selection of forms of presentation areas ballistic reach objects on the map based // *Psychological-Pedagogical Gaudeamus magazine*. Tambov State University. G.R. Derzhavin. 2010. No. 2. Pp. 343–345.
16. Vasilenko V.V., Goncharenko V.I. Development of software and information complex to visualize areas of the earth's surface, reachable ballistic missiles. *Herald of computer and information technologies*. 2010. No. 7. Pp. 3–12.
17. Vasilenko V.V., Goncharenko V.I., Shestakov P.S. Construction of specialized cartographic projections and reach areas ballistic objects. *Bulletin of the Moscow Aviation Institute*. Vol. 18. No. 6. Pp. 12–24.
18. Vasilenko V.V., Goncharenko V.I., Mareev Y.A. Program complex for calculating parameters of the relationship of spatially distributed objects and data areas. *Problems of Informatics*. Novosibirsk Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2012. No. 1 (13). Pp. 73–79.
19. Milyakov DA Geoinformation method of representation, display and estimation the situation in the near maritime zone. *abstract. dis. ... cand. techn. sciences. – SPb. - Peterhof: Naval Inst Radio Electronics*. Popov. 2006. 21 p.
20. Shlyakhtina S. Review of the World Wide Web interactive maps. *ComputerPress: special issue of «World Online»*. 2006. No. 2. URL: <http://www.compress.ru/article.aspx?id=14787&iid=703>.
21. Goncharenko V.I., Khilkov A.A. Construction of electronic cards for reporting zones reach aircraft. *Information technologies in designing and manufacturing*. 2015. No. 3. Pp. 88–93.
22. Google Earth. URL: <http://www.google.com/earth>.
23. Formalev V.F., Reviznikov D.L. *Numerical Analysis*. Moscow, FIZMATLIT, 2004. 400 p.

Information about authors:

Goncharenko V.I., Ph.D., Director of Military Institute of Moscow Aviation Institute (national research university);
Gorchenko L.D., Researcher at the Military Academy of the Strategic Missile Forces named after Peter the Great.

КОМПЛЕКС МЕТОДИК СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВВСТ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ВОЙСКАХ

Каныгин Анатолий Викторович,

к.т.н., старший научный сотрудник, старший научный сотрудник 7-й НИЛ Военной академии воздушно-космической обороны им. Г.К. Жукова (ВА ВКО), г. Тверь, Россия, VAVKO@mil.ru

Степанов Андрей Александрович,

к.т.н., доцент, профессор Белорусского отделения Академии военных наук РФ, начальник цикла кафедры электротехники и систем электропитания Военной академии Республики Беларусь (ВА РБ), г. Минск, Республика Беларусь, saa_ndr@mail.ru

Степанов Александр Викторович,

к.т.н., старший научный сотрудник, профессор Академии военных наук РФ, старший научный сотрудник 7-й НИЛ Военной академии воздушно-космической обороны им. Г.К. Жукова (ВА ВКО), г. Тверь, Россия, VAVKO@mil.ru; stepanov1951av@mail.ru

Ченцов Александр Евгеньевич,

к.в.н., начальник 7-й НИЛ Военной академии воздушно-космической обороны им. Г.К. Жукова (ВА ВКО), г. Тверь, Россия, VAVKO@mil.ru

Аннотация

Представлен комплекс методик совершенствования мониторинга качества вооружения, военной и специальной техники (далее — ВВСТ) по результатам эксплуатации в войсках. Предлагаемый комплекс методик инвариантен к иерархической структуре рассматриваемых систем и подсистем ВВСТ, универсален и может применяться при разработке автоматизированных унифицированных систем сбора, обработки и обмена информацией об отказах для мониторинга качества ВВСТ с целью повышения оперативности сбора данных, своевременности и обоснованности решений, принимаемых по управлению качеством систем и подсистем ВВСТ. Научной новизной обладают методики обработки информации об отказах и оценки качества ВВСТ. Разработаны предложения по организации обмена данными, адаптируемые под представление общей и специфической информации для последующей оценки качества систем и подсистем ВВСТ с учётом фактических характеристик надёжности экземпляров ВВСТ.

Ключевые слова: методика; научно-методический аппарат; качество; мониторинг; требование; система.

Существующая нормативно-техническая база, регламентирующая организацию и практическое проведение мониторинга технического состояния ВВСТ и процессов его эксплуатации, в основном определяет требования к показателям надёжности изделий и их оценке¹⁻³. В процессе исследований⁴ выявлено, что назрели проблемные вопросы, связанные как со сбором и обработкой первичных данных о показателях надёжности ВВСТ, так и с реализацией результатов мониторинга качества ВВСТ.

Во-первых, это связано с отсутствием нормативных документов (далее — НД), регламентирующих собственно процесс мониторинга качества ВВСТ.

Во-вторых, современные НД в основном ориентированы на «бумажную» технологию сбора информации, что не соответствует современным требованиям к достоверности информации, к оперативности её сбора и обработки. При переиздании

¹ Отраслевой стандарт ОСТ 1 00156-75. Надёжность изделий авиационной техники. Классификаторы признаков неисправности.

² ГОСТ Р 27.002-2009. Надёжность в технике. Термины и определения.

³ ГОСТ РВ 15.306-2003. Система разработки и постановки на производство военной техники. Обязательства гарантийные. Основные положения.

⁴ Отчёт о НИР «Мониторинг-К», этап 2. Совершенствование методического аппарата мониторинга качества ВВСТ (ВВС и ВВКО) по результатам его эксплуатации в войсках. Тверь, ВА ВКО, 2014. 136 с.

НД всё ещё не находят достойного отражения вопросы внедрения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в системы сбора и обработки исходных данных от войск.

В-третьих, рациональное разграничение полномочий органов управления техническим состоянием и качеством ВВСТ на различных иерархических уровнях управления также нуждается в нормативно-правовой регламентации.

Таким образом, необходимы изменения и дополнения нормативно-правовой базы, регламентирующей контроль и управление качеством ВВСТ с учётом современных тенденций развития и внедрения ИКТ в системы управления войсками и предприятиями оборонно-промышленного комплекса (ОПК).

Для устранения выявленных недостатков разработан комплекс методик, позволяющий гибко совершенствовать процесс мониторинга качества ВВСТ. Он представлен, объединяющим следующие методики¹:

I. Методика сбора данных об отказах ВВСТ в войсках

Эта методика определяет порядок организации учёта выявленных отказов ВВСТ и обмена этой информацией, а также создания информационной базы данных (БД) о зарегистрированных ранее отказах ВВСТ. От известных методик сбора данных она отличается формами протоколов, адаптируемыми и унифицируемыми под представление общей и специфической информации об отказах ВВСТ.

Процедура сбора информации об отказах ВВСТ предусматривает:

фиксацию фактов выявления отказов ВВСТ и непосредственную регистрацию первичных данных об отказах ВВСТ в местах их выявления (в местах эксплуатации или в местах ремонта ВВСТ);

подготовку информационных массивов первичных данных об отказах в форме (электронном шаблоне / протоколе обмена информацией с группами потребителей информации), адаптируемой под представление общей и специфической информации об отказах ВВСТ, их регистрацию на материальных носителях и хранение в течение установленного периода хранения;

периодическую передачу первичной информации по каналам связи от мест выявления отказов ВВСТ в войсках к местам сбора и обработки этой информации;

сбор дополнительной информации с использованием унифицируемых и адаптируемых форм представления общей и специфической информации о причинах возникновения отказов ВВСТ в войсках и мерах, принятых в местах их устранения (в местах эксплуатации или ремонта ВВСТ);

формирование полной (первичной и дополнительной) информации об отказах ВВСТ за установленный отчётный период в формате (электронном шаблоне / протоколе обмена информацией с потенциальными группами потребителей полной информации), адаптируемом под представление общей и специфической информации для последующей оценки качества ВВСТ;

периодическую передачу уточнённой полной информации по каналам связи от мест устранения отказов ВВСТ к местам сбора этой информации;

накопление и хранение полной информации по всем отказам ВВСТ в месте сбора и обработки всей информации по отказам ВВСТ с оценкой качества ВВСТ на основании последующих оценок (см. ниже) по формам, адаптируемым и унифицируемым под представление общей и специфической полной информации по ВВСТ, в т.ч. по отказам и по качеству ВВСТ различных типов, систем и подсистем ВВСТ.

Один из вариантов возможного применения предлагаемого методического аппарата при создании автоматизированной унифицированной системы сбора, обработки и обмена информацией об отказах для мониторинга качества ВВСТ (далее — АУСС–МК), обеспечивающей повышение достоверности информации о качестве ВВСТ в войсках, её полноту и своевременность представления и обработки, приводится на рис. 1. Для примера на рис. 1 рассматривается система ВВСТ ВКС, как вида ВС РФ, объединяющего несколько подсистем ВВСТ родов войск с разнотипными изделиями. При этом подсистемы ВВСТ других родов войск, кроме ВВС ВКС и ПВО-ПРО ВКС, на рис. 1 не представлены для того, чтобы не снизить наглядность представления основных элементов АУСС–МК и связей между ними. Впрочем, методический аппарат позволяет учитывать иерархические системы любого уровня сложности.

Предлагаемый научно-методический подход к унификации системы (АУСС–МК) заключается в обобщении однотипных задач, алгоритмов их решения и в выявлении другой общей информации для разнотипных изделий, входящих в состав конкретной системы ВВСТ. Обобщение проводится на основании результатов анализа информации по всем типам изделий в составе рассматриваемой системы ВВСТ (с любой иерархической структурой подчинённости группировок войск). Результаты анализа учитываются при разработке АУСС–МК, в том числе и при разработке подсистемы информационной поддержки мониторинга качества ВВСТ, как её составной части. На основании результатов такого анализа формируется информационно-логическое ядро АУСС–МК (например, на рис. 1: для системы вооружения, военной и специальной техники ВКС, находящейся на вооружении войсковых частей, иерархически подчинённых в соответствии с организационно-штатной структурой и технически связанных комплексами средств автоматизации управления — КСА). Специфическая информация по ВВСТ из состава иерархически подчинённых подсистем ВВСТ (в рассматриваемом примере — подсистема ВВСТ ВВС и подсистема ВВСТ ПВО в составе ВКС, как вида ВС РФ), не вошедшая в ядро АУСС–МК, учитывается при формировании гибких (частных) оболочек для соответствующих специфических подсистем ВВСТ.

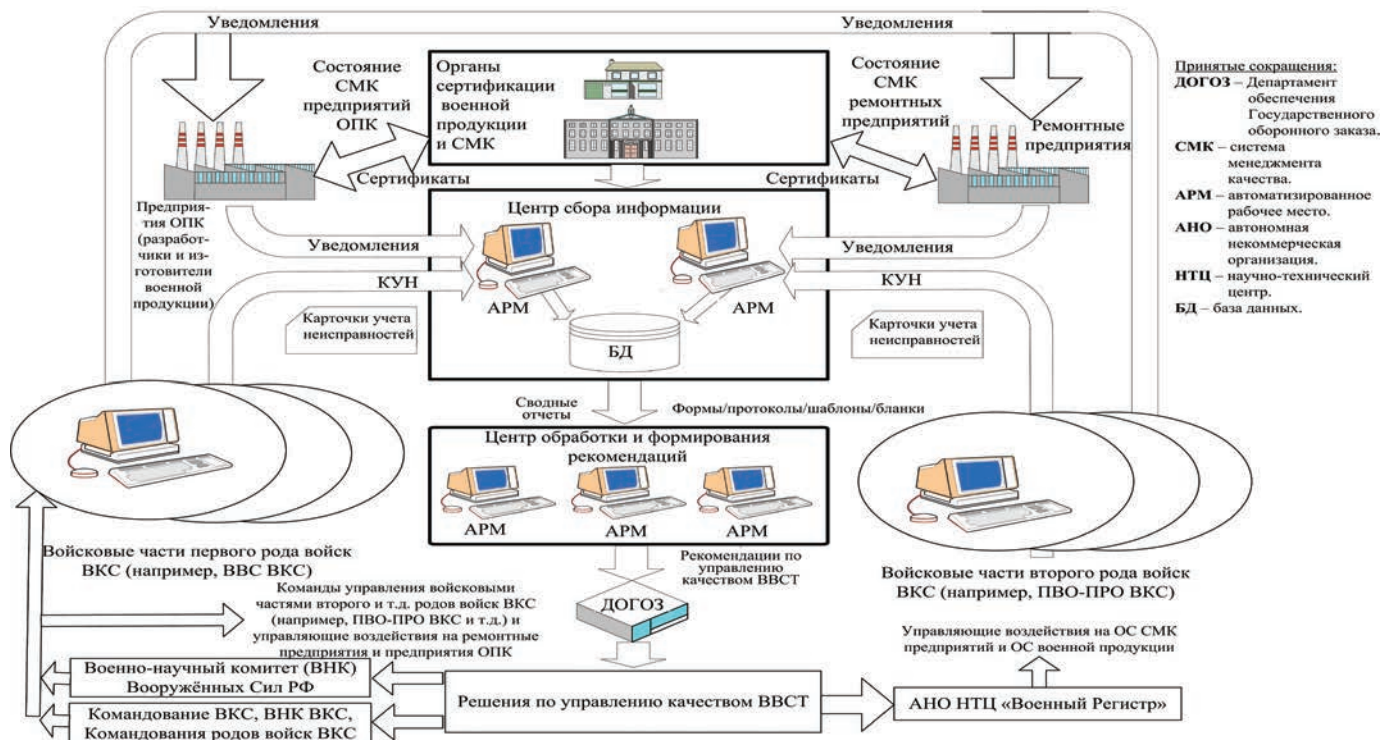


Рис. 1. Система организации сбора, обработки и обмена информацией о неисправностях (отказах) для мониторинга качества системы ВВСТ, объединяющей ВВСТ нескольких родов войск (для примера — ВКС)

В АУСС–МК первичная информация представляется на унифицированной Карточке учёта неисправностей (КУН), которая состоит из двух частей:

первая часть КУН предусматривает поля для сбора общей информации по

ВВСТ любого типа, включаемого в систему ВВСТ наивысшего иерархического уровня; наименования и форматы представления такой общей информации заранее определяются для ядра АУСС–МК, разрабатываемой для рассматриваемой системы ВВСТ (например, для системы ВВСТ ВКС);

вторая часть КУН содержит поля для специфической/индивидуальной информации, которая добавляется в АУСС–МК отдельным блоком; при этом наименования и форматы представления специфической/индивидуальной информации также определяются заранее для эксплуатируемых типов ВВСТ каждой специфической подсистемы ВВСТ (из перечня подсистем второго уровня иерархии, например, применительно к системе ВВСТ ВКС, как вида ВС РФ — отдельно для подсистемы ВВСТ ВВС ВКС и отдельно для подсистемы ВВСТ ПВО-ПРО ВКС), но затем могут изменяться с учётом новых типов ВВСТ, поступающих в войска соответствующей специфической подсистемы ВВСТ (ВВС или ПВО-ПРО).

При выявлении дополнительных специфических особенностей ВВСТ из состава рассматриваемых подсистем ВВСТ предусматривается дальнейшее уточнение формы КУН. Однако, опытная эксплуатация макета подсистемы сбора первичной информации¹ показала, что рассмотренная выше структура КУН практически достаточна для представления специфической/индивидуальной информации по любому типу ВВСТ.

Из войсковых частей КУН отправляются в Центр сбора информации (ЦСИ) и в ремонтные предприятия. По результатам устранения конкретных отказов изделий ВВСТ ремонтные предприятия отправляют в ЦСИ соответствующие Уведомления с более полной, чем в КУН, информацией по отказам, в т.ч. с указанием причин и типов отказов², а также о результатах ремонта³. Такие Уведомления могут поступать как с дополнительной, так и с уточнённой информацией об отказах.

¹Отчёт о НИР «Мониторинг-К», этап 3. Разработка макета системы информационной поддержки мониторинга качества ВВСТ (ВВС и ВВКО). Тверь, ВА ВКО, 2015. 116 с.

²Отраслевой стандарт ОСТ 1 00156-75. Надёжность изделий авиационной техники. Классификаторы признаков неисправности.

³Отчёт о НИР «Мониторинг-К», этап 2. Совершенствование методического аппарата мониторинга качества ВВСТ (ВВС и ВВКО) по результатам его эксплуатации в войсках. Тверь: ВА ВКО, 2014. 136 с.

II. Методика обработки данных об отказах ВВСТ в войсках

Эта методика устанавливает порядок обработки информации об отказах, неисправностях и дефектах ВВСТ. Она предназначена для информационного обеспечения принятия решений по устранению отказов, выявленных в процессе эксплуатации конкретного ВВСТ в войсках^{1,2}.

Результаты обработки информации об отказах ВВСТ, проводимой с использованием автоматизированных рабочих мест (АРМ, рис. 1), используются:

предприятиями-разработчиками ВВСТ для оценки принятых конструкторских и технологических решений и выработки корректирующих действий по предотвращению отказов разработанного ими ВВСТ конкретного типа;

заводами-изготовителями изделий ВВСТ конкретных типов для оценки результативности их производственных и технологических процессов и систем управления качеством (систем менеджмента качества — СМК), а также для разработки мер по предотвращению производственных отказов ВВСТ;

ремонтными организациями (ремонтными заводами и сервисными центрами) для оценки результативности их производственных процессов и СМК, для разработки мер по предотвращению несоответствий в процессах ремонта и сервисного обслуживания.

Процедура обработки информации об отказах ВВСТ включает:

выбор показателей для оценки особенностей проявления отказов ВВСТ;

проведение оценок (расчётов) показателей качества ВВСТ;

формирование отчетов об оценке показателей по установленной форме.

Исходной для дальнейшей обработки является полная информация о выявленных отказах, неисправностях и дефектах ВВСТ, введенная в БД ЦСИ из КУН и Уведомлений с использованием АРМ (рис 1).

Показателями оценки проявления отказов в ВВСТ выбраны следующие:

M_{ijq} количество отказов i -го типа, выявленных во всех экземплярах изделий j -го типа, эксплуатируемых в q -ой организации (воинской части); типы отказов ($i = 1, 2, \dots, I$) определены классификацией³;

N_{ij} количество отказов i -го типа, выявленных во всех изделиях j -го типа ВВСТ, эксплуатируемых в рассматриваемой системе (подсистеме) ВВСТ;

\hat{N}_{ij} — доля отказов i -типа в общем количестве отказов изделий j -го типа.

Показатели M_{ijq} определяются статистическими методами по информации из БД ЦСИ по всем типам отказов ($i = 1, 2, \dots, I$), выявленных во всех экземплярах изделий ВВСТ j -го типа [$j = 1, 2, \dots, J(q)$], эксплуатируемых в рассматриваемой системе (подсистеме) ВВСТ (т.е. находящихся на вооружении всех воинских частей [$q = 1, 2, \dots, Q$] рассматриваемой группировки войск).

Показатели \hat{N}_{ij} и N_{ij} рассчитываются по формулам, математически соответствующим приведенным выше наименованиям этих показателей.

III. Методика оценки качества ВВСТ в войсках

Эта методика устанавливает критерии и порядок оценки качества ВВСТ по разработанной системе показателей для всех изделий рассматриваемого (j -го) типа ВВСТ, эксплуатируемого в войсках в составе анализируемой группировки войск или системы (подсистемы) ВВСТ.

Система показателей качества систем ВВСТ^{1,2} формируется на основании тактико-технических требований (ТТТ) ко всем изделиям определённого (j -го) типа ВВСТ, первоначально устанавливаемых в технических или в тактико-технических заданиях (ТЗ, ТТЗ) на разработку изделий определённого (j -го) типа ВВСТ. При постановке ВВСТ рассматриваемого типа на серийное производство значения требуемых тактико-технических характеристик (ТТХ) этого ВВСТ устанавливаются в технических условиях (ТУ) на производство ВВСТ, контролируется при выпуске и в процессе эксплуатации конкретных экземпляров изделий этого типа ВВСТ.

На основании анализа единичных, частных и комплексных показателей качества ВВСТ формируется интегральный (обобщенный) показатель качества¹. Расчёт интегрального показателя качества отдельных типов ВВСТ и системы ВВСТ производится смешанным методом¹. Он основан на одновременном использовании единичных и комплексных показателей качества ВВСТ (как отдельных типов ВВСТ, так и рассматриваемой системы ВВСТ). Применение этого метода целесообразно тогда, когда совокупность единичных показателей обширна и анализ каждого из них дифференциальным методом не позволяет получить обобщающих выводов. При этом и комплексные показатели порой недостаточно полно учитывают все существенные свойства ВВСТ рассматриваемого типа и не позволяют получить выводы о группах свойств ВВСТ.

¹Отчёт о НИР «Мониторинг-К», этап 2. Совершенствование методического аппарата мониторинга качества ВВСТ (ВВС и ВВКО) по результатам его эксплуатации в войсках. Тверь, ВА ВКО, 2014. 136 с.

²Отчёт о НИР «Мониторинг-К», этап 3. Разработка макета системы информационной поддержки мониторинга качества ВВСТ (ВВС и ВВКО). Тверь, ВА ВКО, 2015. 116 с.

³Отраслевой стандарт ОСТ 1 00156-75. Надёжность изделий авиационной техники. Классификаторы признаков неисправности.

Интегральный показатель качества системы, объединяющей разнотипные ВВСТ ($j = 1, 2, \dots, J$), может быть рассчитан с учётом коэффициентов весомости изделий j -ых типов (B_j) в составе рассматриваемой системы ВВСТ (вида ВС РФ, рода войск или группировки войск), комплексных показателей качества ВВСТ j -го типа (K_j) и базовых комплексных показателей качества ВВСТ j -ых типов (K_{j0} — оценивается по ТУ на производство ВВСТ этого типа)¹.

Целью интегральной оценки качества ВВСТ является обеспечение органов военного управления (ОВУ) своевременной и достоверной информацией о текущем состоянии всей системы ВВСТ. Такая информация необходима для обоснованной выработки рекомендаций для принятия решений по управлению качеством системы ВВСТ (находящейся на вооружении группировки войск). Применение предлагаемого научно-методического аппарата повышает обоснованность решений, принимаемых ОВУ, за счет анализа текущего состояния

эксплуатируемого ВВСТ по фактическим значениям его ТТХ и сопоставления результатов анализа со значениями, заданными в ТУ.

IV. Методика принятия решений по результатам анализа интегрального показателя качества ВВСТ

Эта методика предназначена для формирования рекомендаций в случаях выявления отклонений ТТХ ВВСТ от требований ТУ.

Структурная схема методики приведена на рис. 2.

Исходными данными для разработки рекомендаций являются:

результаты мониторинга качества ВВСТ, хранящиеся в БД ЦСИ (рис. 1);

расчётные значения интегрального показателя качества ВВСТ, полученные по статистическим данным из БД ЦСИ (рис. 1);

базовые значения интегрального показателя качества ВВСТ, сформированные на основе ТТХ, установленных в ТУ.

Рекомендации базируются на результатах анализа затрат на эксплуатацию ВВСТ, в т. ч. финансовых и временных ресурсов, материальных средств.

При формировании рекомендаций оценивается целесообразность проведения планируемых мер с учётом всех видов прогнозируемых затрат на поддержание значений ТТХ, требуемых в ТУ.

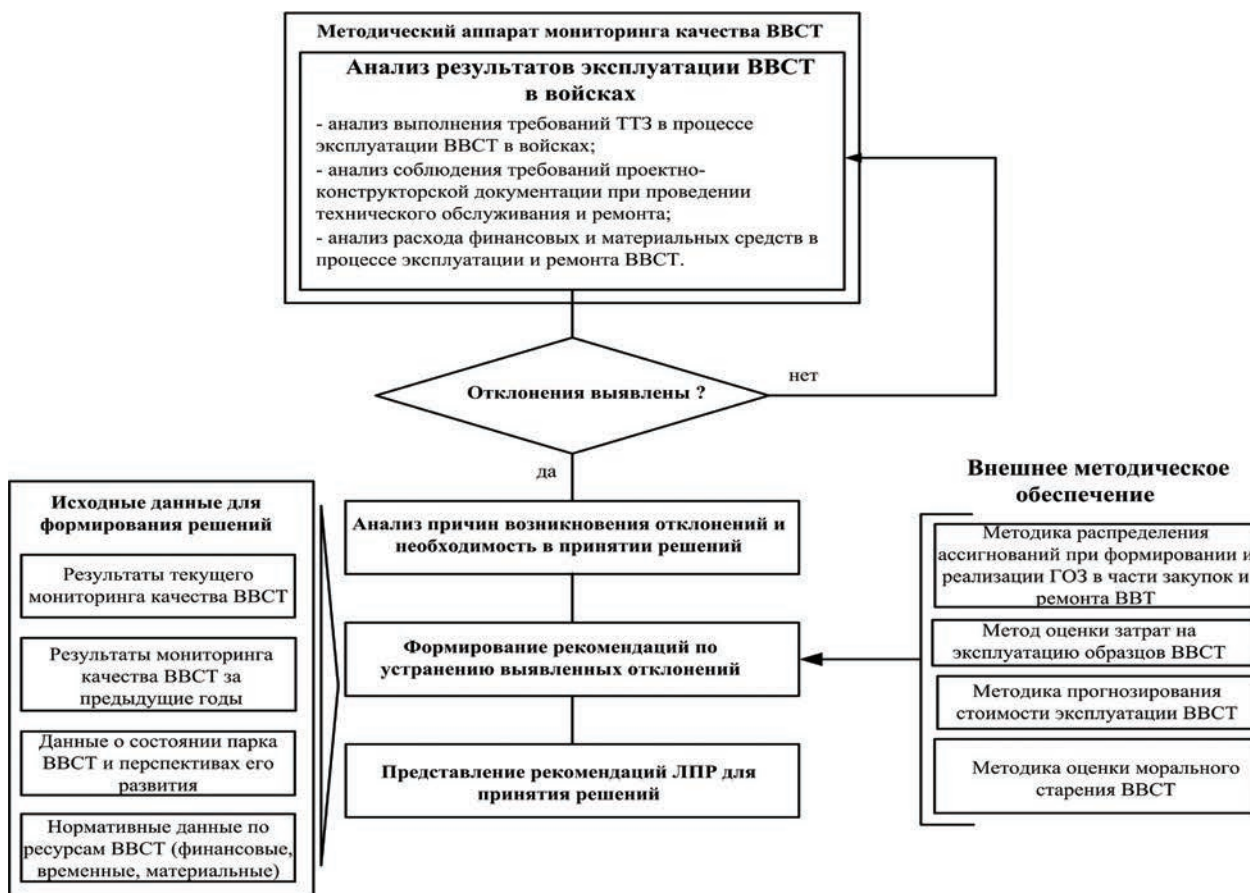


Рис. 2. Структурная схема методики формирования рекомендаций по результатам анализа интегрального показателя качества ВВСТ



Рис. 3. Дерево возможных рекомендаций по обеспечению требуемого качества ВВСТ

Основными причинами снижения качества ВВСТ, оцениваемого по интегральному показателю качества ВВСТ, могут быть:

1. Выход за границы, установленные в ТУ на производство изделий конкретного типа, значений показателей надежности^{1,2}, в том числе:

1.1) основных показателей надежности¹:

- а) средняя наработка на отказ (T_0);
- б) среднее время восстановления (T_B);
- в) коэффициент готовности (K_r);
- г) вероятность безотказной работы (P_0) за время боевой работы $t_{бр}$.

1.2) дополнительных показателей надежности^{1,3}:

- а) среднее время простоя в неработоспособном состоянии, в т. ч. из-за несвоевременности пополнения комплектов ЗИП и по другим организационным причинам (T_n);
- б) средняя наработка на неисправность (T_H);
- в) коэффициент использования ($K_{и}$);
- г) коэффициент технического использования ($K_{ти}$).

2. Нарушение правил эксплуатации ВВСТ, в т. ч. технического обслуживания и ремонта.

3. Нарушение сроков проведения плановых мероприятий по поддержанию готовности и восполнению ресурса (срока службы) ВВСТ.

4. Низкое качество электронной компонентной базы (ЭКБ) и комплектующих изделий межотраслевого применения.

5. Несоответствия, выявленные в конструкторских, технологических и производственных решениях, принятых при разработке и изготовлении ВВСТ.

На основе анализа возможных причин выхода значения интегрального показателя качества ВВСТ за граничные значения формируется дерево возможных рекомендаций по обеспечению требуемого качества ВВСТ (например, как на рис. 3).

Должностное лицо, принимающее решения, (на рис. 2 — ЛПР) учитывает варианты, представленные деревом возможных рекомендаций, с учётом личного опыта работы. Выбранные им рекомендации представляются в Департамент обеспече-

¹ГОСТ Р 27.002-2009. Надёжность в технике. Термины и определения.

²Отчёт о НИР «Мониторинг-К», этап 2. Совершенствование методического аппарата мониторинга качества ВВСТ (ВВС и ВВКО) по результатам его эксплуатации в войсках. Тверь, ВА ВКО, 2014. 136 с.

³ГОСТ РВ 15.306-2003. Система разработки и постановки на производство военной техники. Обязательства гарантийные. Основные положения.

ния государственного оборонного заказа (на рис. 1 — ДОГОЗ), откуда окончательные решения по управлению качеством ВВСТ (для отдельных типов ВВСТ или систем ВВСТ) передаются в Военно-научный комитет ВС РФ, Командованию рассматриваемого вида ВС РФ (в примере — ВКС), ВНК этого вида ВС РФ, командованиям родов войск (в примере — ВВС ВКС, ПВО-ПРО ВКС и т.д. в соответствии с иерархической структурой управления) для руководства к действиям.

Кроме того, решения по управлению качеством ВВСТ, принятые в ДОГОЗ, доводятся до руководства Автономной некоммерческой организации Научно-технического центра «Военный регистр» (на рис. 1 — АНО НТЦ «Военный регистр»), которое формирует управляющие воздействия на органы сертификации систем менеджмента качества (ОС СМК) и органы сертификации военной продукции (ОС ВП), включённые в «Военный регистр». При этом ОС СМК, включённые в «Военный регистр», в своей деятельности руководствуются требованиями ГОСТ РВ 15.002¹.

Таким образом, предлагаемый комплекс методик позволяет:

исключить избыточность информации при её сборе и первичной обработке, за счёт чего снижается трудоёмкость и затраты времени на сбор информации о качестве ВВСТ;

повысить обоснованность решений, принимаемых органами военного управления по управлению качеством эксплуатируемого ВВСТ при применении интегрального показателя качества;

ускорить оперативность сбора данных, их достоверность, а также своевременность и обоснованность решений, принимаемых по управлению качеством ВВСТ при условии применения АУСС–МК для мониторинга качества отдельных изделий ВВСТ и конкретных систем ВВСТ.

Предлагаемый комплекс методик является универсальным и может применяться при разработке АУСС–МК для ОВУ различных видов ВС РФ, родов войск и группировок войск, а также для предприятий ОПК.

COMPLEX OF TECHNIQUES OF IMPROVEMENT OF MONITORING OF QUALITY MILITARY AND SPECIAL EQUIPMENT IS PRESENTED BY RESULTS OF OPERATION IN ARMIES

Kanygin Anatoly Viktorovich, Tver, Russia, VAVKO@mil.ru

Stepanov Andrey Aleksandrovich, Minsk, Republic of Belarus, saa_ndr@mail.ru

Stepanov Alexander Viktorovich, Tver, Russia, VAVKO@mil.ru; stepanov1951av@mail.ru

Chentsov Alexander Evgenyevich, Tver, Russia, VAVKO@mil.ru

Abstract

Methods of improvement of monitoring of quality of arms, military and special equipment is presented by results of operation in armies. Offered complex methods invariant to the hierarchical structure of considered systems and subsystems military and special equipment is presented, it is universal and can be applied in the development of unified automated collection systems, processing and exchange of information about refusals for quality monitoring military and special equipment is presented for the purpose of increase of efficiency of data collection, timeliness and validity of decisions, accepted quality management systems and subsystems military and special equipment is presented. Scientific novelty processing methods of information on refusals and quality estimates possess military and special equipment is presented. Developed Offers are developed for the organization of data exchange, adapted under submission of the general and specific information for the subsequent assessment of quality of systems and subsystems military and special equipment is presented based on actual instance of reliability characteristics military and special equipment is presented.

Keywords: methods, scientific and methodical device, quality, monitoring, requirement, system.

Information about authors:

Kanygin A.V., Ph.D., senior research associate (academic status), senior research associate 7th SRL (position) Military academy of aero-space defense named. G.K.Zhukov (MA ASD);

Stepanov A.A., Ph.D., assistant professor (academic status), Professor of the Belarusian branch Of the academy of military sciences of the Russian Federation (academic status), Chief of the Department of the cycle of electrical engineering and power systems (position) Military academy of Republic of Belarus (MA RB);

Stepanov A.V., Ph.D., senior research associate (academic status), professor of Academy of military sciences of the Russian Federation (academic status), senior research associate 7th SRL (position) Military academy of aero-space defense named. G.K.Zhukov (MA ASD);

Chentsov A.E., Ph.D., Chief 7th SRL (position) Military academy of aero-space defense named. G.K.Zhukov (MA ASD).

¹ГОСТ РВ 15.002. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Системы менеджмента качества. Общие требования.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТУРОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УЧЕТА И МОНИТОРИНГА

Легков константин Евгеньевич,

к.т.н., начальник кафедры ВКА им. А.Ф. Можайского г. Санкт-Петербург, constl@mail.ru

Емельянов Александр Владимирович,

адыонкт ВКА им. А.Ф. Можайского г. Санкт-Петербург

Аннотация

Статья посвящена вопросам формализованного описания процедур обработки данных об объектах учета и мониторинга инфокоммуникационных сетей и систем специального назначения (ИКС СН), осуществляемых в замкнутых контурах автоматизированных систем управления (АСУ) ИКС СН. Показано, что для обеспечения эффективной организации процессов управления ИКС СН требуется в составе средств специального программного обеспечения АСУ, создавать программные модули, обеспечивающие получение требуемой для целей управления и эксплуатации ИКС СН информации в реальном масштабе о событиях, параметрах и состоянии всех объектов учета и мониторинга системы.

При этом в основу положена достаточно простая двухплоскостная модель, включающая плоскость примитивного оперативного экспресс-анализа и плоскость апостериорного детального анализа данных учета и мониторинга, в которой осуществляется достоверная систематическая оценка параметров функционирования и состояния контролируемых элементов и компонентов ИКС СН.

На основе обработки статистики проведена оценка вероятности каждого события, произошедшего и зафиксированного в объектах учета и мониторинга ИКС СН. При организации контроля сложных событий, происходящих в ИКС СН используются формулы полной вероятности и Байеса. Показано, что при проведении процедур учета и мониторинга в процессе оценивания параметров, характеризующих работу элементов, фрагментов или всей ИКС СН, используют два вида оценок: интервальные и точечные.

Рассмотренные в статье вопросы формирования математического обеспечения процессов учета и мониторинга ИКС СН, позволяют определить основные компоненты программных модулей специального программного обеспечения АСУ ИКС СН, в случае реализации которых, будет осуществлена достаточно эффективная поддержка принятия управленческих решений как основе данных экспресс анализа данных учета и мониторинга объектов контроля ИКС СН, так и на основе апостериорного детального анализа данных учета и мониторинга с достоверной систематической оценкой параметров функционирования и состояния контролируемых элементов и компонентов ИКС СН.

Ключевые слова: *инфокоммуникационные системы; современные информационные и телекоммуникационные сети специального назначения; автоматизированные системы управления; мониторинг.*

В настоящее время в различных министерствах и ведомствах, отвечающих за оборону, безопасность и правопорядок, создаются инфокоммуникационные системы и сети специального назначения [1], которые фактически являются результатом протекающих в последние годы процессов конвергенции различных телекоммуникационных сетей и информационных систем органов управления. Наряду с традиционными трудностями, связанными с созданием средств инфокоммуникаций нового поколения, возникает целый ряд нерешенных проблем, среди которых важнейшими являются решения по обеспечению комплексов средств автоматизации АСУ и должностных лиц органов управления необходимой достоверной и исчерпывающей информацией об объектах учета и мониторинга ИКС СН. При этом одним из наиболее значимых моментов является создание математического обеспечения специального программного обеспечения АСУ, в составе которого выделяются модули аналитической обработки данных учета и мониторинга об объектах ИКС СН.

В настоящее время опубликован ряд работ, посвященных построению и мониторингу ИКС СН [2–6], однако вопросы разработки математического обеспечения АСУ проработаны недостаточно, что затрудняет создание качественного специального программного обеспечения.

Особенности функционирования ИКС СН и АСУ ИКС СН в условиях многочисленных противодействий нарушителей и противника предполагают осуществление схем аналитической обработки данных учета и мониторинга в двух плоскостях:

- плоскость экспресс анализа данных, в которой осуществляется достаточно частая примитивная периодическая оценка параметров функционирования и состояния контролируемых элементов и компонентов ИКС СН, с целью оперативного контроля со стороны ДЛ органов управления;
- плоскость апостериорного детального анализа данных учета и мониторинга, в которой осуществляется достоверная систематическая оценка параметров функционирования и состояния контролируемых элементов и компонентов ИКС СН, с целью:
 - периодического (период определяется регламентом) контроля их как со стороны ДЛ органов управления ИКС СН, так и со стороны органов управления ведомства или министерства;
 - выявления опасных тенденций в изменении данных учета и мониторинга, которые могут привести к отказам и к устойчивому снижению качественных показателей функционирования ИКС СН.

Экспресс анализ данных функционирования ЕИТС

Экспресс анализ данных, характеризующих текущее функционирование ИКС СН, предполагает использование простых текущих оценок событий и параметров за определенный период контроля в соответствии с делением всех объектов ИКС СН на объекты учета и контроля и выделенным для каждого из них множества описаний событий и параметров:

- средства ИКС СН (различное оборудование ИКС СН);
- линии связи ИКС СН;
- узлы ИКС СН;
- уровневые сети предоставления услуг ИКС СН (инфраструктурного, промежуточного и базового уровней системы);
- зоны ИКС СН;
- услуги ИКС СН;
- спецпользователи ИКС СН.

При этом наиболее целесообразной общей формой проводимых мероприятий экспресс анализа данных, характеризующих текущее функционирование ИКС СН по всем параметрам всех объектов учета и мониторинга следует признать форму, представленную выражением:

$$S_{ObjCM} = \sum_{i=1}^{N_{ObjCM}} \varphi_{ObjCM} \frac{d_{ObjCM}}{r_{ObjCM}}, \tag{1}$$

где d_{ObjCM} – i -е значение контролируемого параметра объекта учета и мониторинга ИКС СН;

r_{ObjCM} – нормативное или максимальное значение контролируемого параметра объекта учета и мониторинга ИКС СН;

φ_{ObjCM} – вес i -го измерения контролируемого параметра объекта учета и мониторинга ИКС СН (для простейшего

варианта $\varphi_{ObjCM} = \frac{1}{N_{ObjCM}}$);

N_{ObjCM} – число измерений (фиксаций) значений контролируемого параметра объекта учета и мониторинга за интервал контроля T_{ObjCM} .

Апостериорный детальный анализ данных учета и мониторинга

Функционирования контуров учета, контроля и мониторинга АСУ ИКС СН определяются применяемыми способами получения оценок событий и параметров, характеризующих состояние элементов, комплексов и сетей ИКС СН.

Так для оценивания событий, происходящих в объектах учета и мониторинга ИКС СН должны быть применены приемы из теории вероятностей [8, 9], для оценивания значений параметров объектов учета и мониторинга ИКС СН, которые признаны случайными величинами – операции из математической статистики [9–11], т.к. процедуры получения эффективных, несмещенных, состоятельных оценок моментов случайных величин, характеризующих работу объектов учета и мониторинга ИКС СН, в целом включают способы, достаточно хорошо разработанные в рамках математической статистики, а параметры и характеристики объектов учета и мониторинга ИКС СН, которые признаны случайными функциями – в теории случайных процессов [12, 13].

Фиксируемые события, происходящие в объектах учета и мониторинга ИКС СН могут быть простыми и сложными. Простые характеризуются завершенностью результата при появлении одного события. Так, появившийся сбой работы какого-нибудь порта коммутатора (маршрутизатора, сервера информационной службы или службы управления АСУ) является простым событием. Последовательность же сбойных ситуаций портов сервера (коммутатора, маршрутизатора), следующих одна за другой в определенной последовательности, уже является сложным событием, результат которого может выходить за рамки частных результатов.

Если оценивать происходящие в объектах учета и мониторинга ИКС СН события как случайные, то следует получить определенные значения вероятностей их появления на основе обработки статистики. В качестве оценки вероятности каждого события, произошедшего и зафиксированного в объектах учета и мониторинга ИКС СН, выбирают величину, равную частоте его появления за фиксированный промежуток времени Δt_f . При этом весь интервал Δt_f разбивают на подинтервалы $\Delta t_f(i)$, число которых определяется заданной точностью получаемых оценок, а в каждом из которых фиксируют или не фиксируют то или иное событие.

Затем за весь интервал Δt_f подсчитывают число произошедших (выявленных, зафиксированных) событий k -го типа и вычисляют частоту их осуществления $\frac{1}{k_f} \sum_{i=1}^{k_f} n_k(i)$, которую берут в качестве оценки вероятности данного события.

Полученные значения затем могут быть использованы в целях прогноза появления данного события.

При организации контроля более сложных событий, происходящих в ИКС СН, в случае непрямого (косвенного) мониторинга пользуются формулами полной вероятности и Байеса [8, 9].

Оценку параметров объектов учета и мониторинга ИКС СН, которые допустимо считать случайными величинами, осуществляют оцениванием их моментов. В соответствии с этим, оценку первого начального момента m_{N1} и второго центрального момента m_{N2}^c , характеризующих работу элементов, фрагментов или всей ИКС СН, представленных произвольной выборкой, осуществляют следующим образом:

$$m_{N1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2)$$

$$m_{N2}^c = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_{N1})^2, \quad (3)$$

Для выявления статистической связи между случайными параметрами, характеризующими работу объектов учета и мониторинга ИКС СН, фрагментов или всей ИКС СН, применяют методы корреляционного анализа. При этом следует использовать коэффициент корреляции, определяемый соотношением

$$Q_{xy} = \frac{M[(X - m_{N1x})(Y - m_{N1y})]}{(m_{N2x}^A m_{N2y}^A)^{\frac{1}{2}}}, \quad (4)$$

где Y и X – случайные параметры объектов учета и мониторинга ИКС СН;

$(m_{N2x}^A)^{\frac{1}{2}}$ и $(m_{N2y}^A)^{\frac{1}{2}}$ – среднеквадратические отклонения.

На практике при организации управления ИКС СН допустимо ограничиться моделями одномерного корреляционного анализа.

Кроме параметров объектов учета и мониторинга ИКС СН, являющихся случайными величинами, некоторые характеристики объектов учета и мониторинга ИКС СН можно рассматривать только как случайные процессы, хотя их анализ и оценка их характеристик обычно значительно более сложная по сравнению с анализом случайных величин, даже если есть все основания считать процессы стационарными с известной плотностью распределения (например, пуассоновскими и гауссовскими).

Задача статистической обработки и оценивания случайных процессов в процедурах учета и мониторинга ИКС СН осложняется еще тем, что в большинстве случаев во время ее функционирования их не удается представить в виде эргодических стационарных процессов, оценивание которых существенно упрощается. Поэтому в процессе мониторинга обычно сводят наблюдаемый процесс к стационарному, а затем оценивают его параметры. Однако, это не всегда удается осуществить для всех параметров объектов учета и мониторинга ИКС СН.

При организации процедур учета и мониторинга полагают, что наблюдаемый случайный процесс, характеризующий работу объектов учета и мониторинга ИКС СН (элементов, фрагментов или всей ИКС СН), обладает свойством эргодичности, а также что имеется возможность выделить в исследуемом процессе достаточно протяженные интервалы времени, внутри которых процесс ведет себя почти как стационарный и эргодический.

На самом деле первый начальный момент таких случайных процессов, характеризующих работу элементов, фрагментов или всей ИКС СН не постоянен во времени, а корреляционная функция зависит не только от разности аргументов, но и от времени. Однако при учете и мониторинге считают, что изменение этих характеристик на протяжении интервала учета и мониторинга сравнительно мало и им обычно можно пренебречь.

Ограниченное время наблюдения случайных процессов, характеризующих объекты учета и мониторинга ИКС СН, т.е. характеризующих работу элементов, фрагментов или всей ИКС СН, приводит к тому, что любая оценка содержит ошибки.

Наиболее полные сведения о возможных значениях параметра l объектов учета и мониторинга ИКС СН задаются апостериорной плотностью вероятностей $f[l|x(t)]$, которая является условной плотностью вероятностей параметра l в случае, если принята реализация $x(t)$.

Выражение для апостериорной плотности вероятностей имеет вид:

$$f[l|x(t)] = \frac{f[l]f[X|l]}{f[X]} \quad (5)$$

где $f[l]$ – априорная плотность параметра l ;

$f[X]$ – плотность вероятности выборки X из реализации $x(t)$.

При проведении процедур учета и мониторинга в процессе оценивания параметров, характеризующих работу элементов, фрагментов или всей ИКС СН, используют два вида оценок: интервальные и точечные.

При интервальных оценках указывают интервал, в котором с вероятностью, не меньшей заданной, содержится истинное значение оцениваемого параметра объектов учета и мониторинга ИКС СН. Заданная вероятность является коэффициентом доверия, а указанный интервал значений параметра объектов учета и мониторинга ИКС СН – доверительным интервалом. Верхняя и нижняя границы доверительного интервала являются функциями от наблюдаемой реализации $x(t)$ случайного процесса параметров объектов учета и мониторинга ИКС СН.

При получении точечной оценки неизвестному параметру объектов учета и мониторинга ИКС СН, она может быть получена из теоремы условных вероятностей, но при этом приписывают только одно значение из интервала возможных значений. Другими словами, на основе анализа наблюдаемой реализации $x(t)$ вырабатывается определенное значение, используемое в дальнейшем в качестве истинного значения параметра элементов, фрагментов или всей ИКС СН.

Известно [14], что основным недостатком всех классических методов оценивания при применении их для оперативного мониторинга параметров объектов учета и мониторинга ИКС СН является их достаточная сложность. Даже если задаться величиной $m \geq 2$, то при использовании для оценки интенсивности метода наименьших квадратов получается достаточно большой объем вычислений. Кроме того, классические методы оценивания являются асимптотически оптимальными и только тогда позволяют получать наилучшую (оптимальную) оценку, если правильно выбран порядок искомого полинома и имеется достаточно длинная реализации процесса.

Поэтому при практической организации процессов оперативного учета и мониторинга ИКС СН, в условиях существенной априорной неопределенности вида полинома оцениваемого параметра объекта учета и мониторинга ИКС СН, применение классических методов оценки параметров, рассматриваемых как случайные процессы, нецелесообразно, так как в процессе функционирования ИКС СН вид их изменения будет не известен и останется неопределенной детерминированной величиной. При этом достаточно хорошими в применении оказываются различные квазиоптимальные операторы, например, оператор текущего среднего (сглаживания, усреднения) или оператор Бернштейна. На практике наиболее часто используется оператор текущего сглаживания [14].

Оператор текущего среднего (или сглаживания) при оценке параметра объекта учета и мониторинга ИКС СН принимает следующий вид:

$$x^*(t_0) = m_{N1}(t_0) = \frac{1}{T_c} \int_{t_0}^{t_0+T_c} x^0(u) du \quad (6)$$

Вычислительный процесс в АСУ основан на дискретном усреднении:

$$x^*(t_0) = m_{N1}(t_0) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^0(t_0 + i\Delta t) \quad (7)$$

При оценке (7), оператор текущего среднего обеспечит получение несмещенной оценки параметра объекта учета и мониторинга ИКС СН. При этом флюктуационную составляющую ошибки оценивания интенсивности потоков, которая, уменьшается с увеличением интервала T_c , характеризуют вторым центральным моментом текущей оценки

$$m_{N2x} = \frac{2}{T_c} \int_0^{T_c} \left(1 - \frac{\tau}{T_c}\right) Q_{0x}(\tau) d\tau \quad (8)$$

где $Q_{0x}(\tau)$ – корреляционная функция процесса, характеризующего параметр объекта учета и мониторинга ИКС СН.

Или для вычислительного процесса

$$m_{N2x}^* = \frac{Q_{0x}(\tau)}{n} \quad (9)$$

Для модели параметра объекта учета и мониторинга ИКС СН стационарного по сути или интерпретируемого как стационарный (для интервала мониторинга), оператор текущего среднего дает такие же оценки, как метод наименьших квадратов.

Адаптивные свойства оператора текущего среднего полностью определяются интервалом сглаживания T_c : чем меньше величина T_c , тем они более выражены, тем меньше ошибка смещения, вызванная изменением модели объекта учета и мониторинга ИКС СН, но тем больше флюктуационная составляющая ошибки.

Для оценки параметра объекта учета и мониторинга ИКС СН в ретроспективе можно выбирать величину интервала сглаживания, сравнимую с длительностью интервала мониторинга, т.е. $T_c \oplus T_{\text{monitEITS}}$. В этом случае получается минимальная (из возможных) ошибка флюктуации и приемлемая ошибка смещения.

Полученные точечные оценки параметров объектов учета и мониторинга ИКС СН $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^0(t_0 + i\Delta t)$; $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^0[(t_0 + n\Delta t) + 2\Delta t]; \dots; \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^0[(t_0 + N\Delta t) + i\Delta t]$ следует использовать для построения графиков изменения параметров. Обозначив их $x^*(t_{01}), x^*(t_{02}), \dots, x^*(t_{0N})$ следует найти оптимальное в определенном смысле аппроксимирующее выражение для $X^*(t)$.

Обычно стремятся найти аппроксимирующее выражение для функции, задающей искомый параметр объекта учета и мониторинга ИКС СН в виде ряда

$$X^*(t) = \sum_{k=1}^n u_k \psi_k(t) \quad (10)$$

При этом выбирают определенную систему ортонормированных функций $\psi_k(t)$ и такие коэффициенты u_k , при которых обеспечивается минимум величины среднего квадрата ошибки [14].

В соответствии с методом наименьших квадратов для получения значений u_k необходимо приравнять нулю все частные производные, откуда

$$u_k = \int_0^{\infty} X^*(\tau) \psi_k(\tau) d\tau \quad (11)$$

Наиболее удобно [14] использовать метод аппроксимации рядом экспонент $R_{ij}(\tau) = \sum_{k=1}^n a_k e^{-c_k|\tau|}$.

Сами по себе функции $e^{-c_k|\tau|}$ не являются ни ортогональными, ни нормированными, однако следует предложить строить линейные комбинации функций $e^{-c_k|\tau|}$, обладающие свойством ортогональности, т.е. представить функции $\psi_k(\tau)$ в виде:

$$\begin{aligned} \psi_1(\tau) &= a_{11} e^{-c|\tau|}; \\ \psi_2(\tau) &= a_{21} e^{-c|\tau|} + a_{22} e^{-2c|\tau|}; \\ &\dots \\ \psi_n(\tau) &= a_{n1} e^{-c|\tau|} + a_{n2} e^{-2c|\tau|} + \dots + a_{nm} e^{-nc|\tau|} \end{aligned} \quad (12)$$

Коэффициенты a_{km} определяются из условий ортогональности.

С учетом специфики функционирования ИКС СН в чрезвычайных условиях, быстро меняющейся обстановки и скоротечных операций, следует осуществить разложение всего по трем-четырем членам [14]. Тогда:

$$\begin{aligned} \psi_1(\tau) &= \sqrt{2c} e^{-c|\tau|}; \\ \psi_2(\tau) &= \sqrt{c} (\sqrt{6} e^{-2c|\tau|} - 4e^{-c|\tau|}); \\ \psi_3(\tau) &= \sqrt{6c} (3e^{-c|\tau|} - 12e^{-2c|\tau|} + 10e^{-3c|\tau|}) \end{aligned} \quad (13)$$

При этом функция, отражающая изменение параметров объектов учета и мониторинга ИКС СН аппроксимируется как:

$$R_{ij}(t) = u_1 \sqrt{2c} e^{-c|\tau|} + u_2 \sqrt{c} (\sqrt{6} e^{-2c|\tau|} - 4e^{-c|\tau|}) + u_3 \sqrt{6c} (3e^{-c|\tau|} - 12e^{-2c|\tau|} + 10e^{-3c|\tau|}), \quad (14)$$

а искомые коэффициенты a_k – как линейные комбинации коэффициентов u_k .

Сами коэффициенты u_k в случае, когда известны точечные оценки $x^*(t_{01}), x^*(t_{02}), \dots, x^*(t_{0N})$, определяются следующим образом:

$$u_1 = \sum_{z=1}^N x^*(t_{0z}) \psi_1(\tau_z); u_2 = \sum_{z=1}^{\xi} x^*(t_{0z}) \psi_2(\tau_z); u_3 = \sum_{z=1}^{\xi} x^*(t_{0z}) \psi_3(\tau_z) \quad (15)$$

Подставив полученные значения коэффициентов u_k в выражение для $X^*(t)$ будем иметь аппроксимирующее выражение оценочной функции изменения любого параметра для каждого объекта учета и мониторинга ИКС СН:

$$\begin{aligned} X^*(t) &= \sum_{k=1}^3 \sum_{z=1}^{\xi} x^*(t_{0z}) \psi_k(\tau_z) = \sum_{k=1}^3 \sum_{z=1}^{\xi} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^0[(t_0 + n\Delta t) + z\Delta t] \psi_k(\tau_z) = \\ &= \sqrt{2c} e^{-c|\tau|} \sum_{z=1}^{\xi} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^0[(t_0 + n\Delta t) + z\Delta t] + \\ &+ \sqrt{c} (\sqrt{6} e^{-2c|\tau|} - 4e^{-c|\tau|}) \sum_{z=1}^{\xi} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^0[(t_0 + n\Delta t) + z\Delta t] + \\ &+ \sqrt{6c} (3e^{-c|\tau|} - 12e^{-2c|\tau|} + 10e^{-3c|\tau|}) \sum_{z=1}^{\xi} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^0[(t_0 + n\Delta t) + z\Delta t] \end{aligned} \quad (16)$$

Выражение (16) позволяет не только получать и отображать изменения любого параметра для каждого объекта учета и мониторинга ИКС СН, но получать обоснованные прогнозируемые его значения на заданный временной интервал прогноза.

Таким образом, рассмотренные в статье вопросы формирования математического обеспечения процессов учета и мониторинга ИКС СН, позволяют определить основные компоненты программных модулей специального программного обеспечения АСУ ИКС СН, в случае реализации которых, будет осуществлена достаточно эффективная поддержка принятия управленческих решений как основе данных экспресс анализа данных учета и мониторинга объектов контроля ИКС СН, так и на основе апостериорного детального анализа данных учета и мониторинга с достоверной систематической оценкой параметров функционирования и состояния контролируемых элементов и компонентов ИКС СН.

Список литературы

1. Закон РФ ФД «О связи». Ред. 2003 г.
2. Буренин А. Н., Легков К. Е. Современные инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления. М.: Изд-во Медиа Паблишер, 2015. — 348 с.
3. Буренин А. Н., Легков К. Е. Модели процессов мониторинга при обеспечении оперативного контроля эксплуатации инфокоммуникационных сетей специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2011. Т. 3. № 2. С. 19–23.
4. Буренин А. Н., Легков К. Е., Негодин Д. В. Модели мониторинга параметров управления инфокоммуникационных сетей специального назначения // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть I. Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2015. С. 71–74.
5. Буренин А. Н., Легков К. Е., Нестеренко О. Е. К вопросу моделирования процессов мониторинга при обеспечении оперативного контроля эксплуатации инфокоммуникационных сетей специального назначения // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2014. № 3 (28). С. 9–15.
6. Легков К. Е. Проведение экспериментов по сбору трафика и моделированию методики оценки изменения качества информационного обмена в инфокоммуникационной системе специального назначения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8, № 5. С. 36–44.
7. Скуратов А. К. Статистический мониторинг и анализ телекоммуникационных сетей. Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.13.М., 2007. 41 с.
8. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. М.: Мир, 1984. Т. 1. 568 с.
9. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2002. 204 с.
10. Ивченко Г. И. Математическая статистика: учебное пособие: Высшая школа, 1984. 287 с.
11. Маринеску Н. Основы математической статистики и ее применение. М.: Статистика, 1970. 204 с.
12. Моисеев Н. Н. Численные методы в теории оптимальных систем. М.: Наука, 1971. 307 с.
13. Баруча-Рид А. Т. Элементы теории марковских процессов и их приложения. М.: Наука, 1969. 421 с.
14. Теоретические основы управления обменом информацией в АСУ / Под. ред. проф. Буренина Н. И. Л.: ВАС. 1983.

MATHEMATICAL PROVISION OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS OF INFORMATION SYSTEMS OF SPECIAL PURPOSE IN DEALING WITH ACCOUNTING AND MONITORING TASKS

Legkov Konstantin Evgenyevich, St. Petersburg, Russia, constl@mail.ru

Emelyanov Alexander Vladimirovich, St. Petersburg, Russia

Abstract

This paper refers to a formalized description of the data processing procedures of registration and monitoring objects of the infocommunication networks and systems of special purpose (ICN SP), This procedures carried in closed circuits of the automated control systems (ACS) ICN SP. It is shown that, to ensure effective organization of control processes of required to create software modules, provides the required information for the control and operation of ICN SP in real about the events, parameters, and the status of all objects of accounting and monitoring system.

This laid the basis for a fairly simple two-plane model, which includes a plane primitive operational rapid analysis and detailed analysis of the plane of the posterior records and monitoring, in which the reliable functioning of the systematic evaluation of the parameters and the state-controlled elements and components of ICN SP.

On the basis of statistical processing probability of each event occurring and recorded in the objects of accounting and monitoring of ICN is estimated. With oversight of complex events in ICN SP, in the case of indirect monitoring formulas of total probability and Bayes are used. It is shown that during the registration and monitoring procedures in the process of estimating the parameters, that characterize the work of elements, fragments or all ICN SP, two types of estimations are used: interval and point.

The questions of formation of the software processes of accounting and monitoring ICN SP, that considered in this article, allow to identify the main components of the program modules of the special software of ACS ICN SP, in the case of the implementation of which will be carried out effectively support of control decision-making as the basis for rapid analysis of records of data and monitoring ICN SP control facilities, and on the basis of a detailed analysis of the posterior records and monitoring of reliable systematic assessment of the functioning parameters and the status of the monitored elements and components of ICN SP.

Keywords: infocommunication systems; modern information and communication networks of special purpose; automated control systems; monitoring.

References

1. The Federal Law of RF «About communication» No. 126-FL.
2. Burenin A.N., Legkov K.E. Infocommunication systems and networks of special purpose. Basics of creation and control. Moscow, Media Publisher, 2015. 348 p.
3. Burenin A.N., Legkov K.E. Modeling of processes of monitoring in case of support of an operating control of maintenance of infocommunication networks of a special purpose. H&ES Research. 2011. No. 2. Pp. 19–23.
4. Burenin A.N., Legkov K.E., Negodin D.V. Models of monitoring of control parameters of infocommunication networks of special purpose. The Works of the North Caucasian branch of the Moscow Technical University of Communications and Informatics, part I. Rostov-on-Don, PC «University» NCB MTUCI, 2015. Pp. 71–74.
5. Burenin A.N., Legkov K.E., Nesterenko O.E. To the question of modeling of monitoring processes while providing of operational control of exploitation of infocommunication networks of special purpose. The Works of the Rostov State University of Railway Engineering. 2014. No. 3 (28). Pp. 9–15.
6. Legkov K.E. Experiments in traffic data collection and methodology for estimation the change in the quality of information exchange in the infocommunication system of special purpose. T-Comm. 2014. Vol. 8. No.5. Pp. 36–44.
7. Skuratov A.K. Statistical monitoring and analysis of telecommunication networks. Synopsis d.t.s. Moscow, 2007. 41 p.
8. Feller W. Introduction to probability theory and its applications. Moscow, World, 1984. Vol. 1. 568 p.
9. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics: tutorial. Moscow, High school, 2002. 204 p.
10. Ivchenko G.I. Mathematical statistics: tutorial. Moscow, High school, 1984. 287 p.
11. Marinesku N. Basics of mathematical statistics and its application. Moscow, Statistics, 1970. 204 p.
12. Moiseev N.N. Numerical methods in the theory of optimal systems. Moscow, Science, 1971. 307 p.
13. Bharuccha-Reid A.T. Elements of the Theory of Markov Processes and Their Applications. Moscow, Science, 1969. 512 p.
15. The theoretical foundations of information exchange control in ACS. Edited by Burenin N.I. Leningrad, MAC. 1983.

Information about authors:

Legkov K.E., Ph.D., deputy head of the Department automated systems of control, Military Space Academy;

Emelyanov A.V., postgraduate student, Military Space Academy.

МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ МЕЖПОВЕРОЧНЫХ ИНТЕРВАЛОВ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Гусеница Ярослав Николаевич,

к.т.н., преподаватель кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, yaromir226@mail.ru

Шерстобитов Сергей Александрович,

адъюнкт кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, radostj_yad@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

Аннотация

В работе проведен анализ проблемы выбора межповерочных интервалов средств измерений. Данная проблема следует из противоречия, которое заключается в том, что межповерочный интервал средств измерений зависит, с одной стороны, от уровня метрологической надежности, а, с другой стороны, от экономических затрат на их поверку и возможного ущерба из-за неточности измерений. Обоснована актуальность решения задачи совершенствования научно-методического аппарата, позволяющего определить оптимальную длительность межповерочного интервала средств измерений при заданных значениях метрологических характеристик. Исследованы существующие методы, основанные на использовании формализованного описания зависимостей показателей точности и метрологической надежности средств измерений от среднего времени их наработки с момента последней поверки. Выявлены их недостатки, которые не позволяют в полной мере решить поставленную задачу. Во-первых, при моделировании процессов дрейфа метрологических характеристик в существующих методах используется либо обобщенное нормальное распределение, либо нормальное распределение, что далеко не всегда подтверждается на практике. Во-вторых, процесс деградации каждой метрологической характеристики в течение времени является случайным процессом, который имеет свои числовые характеристики. А в указанных методах формализуют либо одну метрологическую характеристику, либо полагают, что все метрологические характеристики подчиняются одинаковому закону распределения с одними и теми же числовыми характеристиками. В-третьих, использование усредненных показателей метрологической надежности средств измерений приводит к достаточно грубым результатам вычислений межповерочных интервалов. В-четвертых, различные экземпляры средств измерений одного типа могут использоваться для различных целей. Поэтому последствия из-за неточности измерений, выполненных с помощью различных экземпляров средств измерений, могут существенно отличаться. Вместе с тем в разработанные ранее методы основаны на использовании зависимости средних экономических потерь от погрешности средств измерений одного типа. Предложен оригинальный метод, позволяющий определить оптимальную длительность межповерочного интервала средств измерений при заданных значениях метрологических характеристик. Разработана модель экономических затрат, которые необходимы на эксплуатацию средства измерений. Она учитывает экономические затраты на поверку средства измерений и ущерб из-за неточности измерений. Кроме того, модель учитывает случайный характер и неоднородность метрологических характеристик средства измерений. В результате задача обоснования межповерочных интервалов сводится к поиску минимума экономических затрат. В заключении приведен численный пример расчета межповерочного интервала средства измерений на основе предложенной модели. Предложено практическое применение данного метода в тех случаях, когда необходимо использовать средства измерений за пределами межповерочного интервала.

Ключевые слова: межповерочный интервал; средство измерений; метрологическое обеспечение; периодическая поверка; функция экономических затрат; метрологическая надежность.

Современный этап развития науки и техники многие теоретики и практики связывают с широким использованием робототехнических систем и интеллектуальных процессов, миниатюризацией элементной базы изделий, интеграцией информационных систем, применением новых физических принципов. Данная тенденция сопровождается значительным усложнением не только самых разнообразных по устройству и назначению технических систем, но и реализуемых с их помощью технологических процессов, контроль которых осуществляется на основе измерений.

Измерения являются одним из важнейших путей познания природы человеком. Они дают количественную характеристику окружающего мира, раскрывая человеку действующие в природе закономерности. Кроме того измерения служат основой научно-технических знаний и имеют первостепенное значение при получении измерительной информации, которая необходима для учета материальных, временных, энергетических и прочих видов ресурсов, планирования и управления, повышения качества продукции, достижения взаимозаменяемости узлов и деталей, обеспечения безопасности [2].

Качество измерительной информации определяется уровнем метрологического обеспечения, основной целью которого является достижение единства и требуемой точности измерений во всех отраслях и сферах деятельности государства [4].

Для достижения указанной цели в рамках метрологического обеспечения выполняются различные мероприятия, основным из которых является периодическая поверка средств измерений, позволяющая экспериментально оценить соответствие метрологических характеристик установленным требованиям [3, 5].

Периодическая поверка выполняется через установленные межповерочные интервалы в зависимости от метрологической надежности средств измерений. Причем, чем меньше межповерочный интервал, тем выше уровень метрологической надежности средства измерений, и тем больше финансовые затраты на проведение их поверки. С другой стороны, увеличение межповерочного интервала может привести к уменьшению метрологической надежности средств измерений, а также возрастанию ущерба из-за неточности результатов измерений.

Следовательно, задача разработки научно-методического аппарата, позволяющего определить оптимальную длительность межповерочного интервала средств измерений при заданных значениях метрологических характеристик является весьма актуальной.

В настоящее время для обоснования межповерочных интервалов средств измерений используют методы, которые представлены в РМГ 74–2004. В основе этих методов лежит формализованное описание зависимостей показателей точности и метрологической надежности средств измерений от времени, прошедшего с момента последней поверки. Поэтому в РМГ 74–2004 они рекомендованы даже при отсутствии априорной информации.

Вместе с тем существующие методы имеют несколько грубые допущения. Во-первых, при моделировании процессов дрейфа метрологических характеристик используется либо обобщенное нормальное распределение, либо нормальное распределение, что далеко не всегда подтверждается на практике. Во-вторых, процесс деградации каждой метрологической характеристики в течение времени является случайным процессом, который имеет свои числовые характеристики. А в указанных методах формализуют либо одну метрологическую характеристику, либо полагают, что все метрологические характеристики подчиняются одинаковому закону распределения с одними и теми же числовыми характеристиками. В-третьих, использование усредненных показателей метрологической надежности средств измерений приводит к достаточно грубым результатам вычислений межповерочных интервалов [7, 8]. В-четвертых, различные экземпляры средств измерений одного типа могут использоваться для различных целей. Поэтому последствия из-за неточности измерений, выполненных с помощью различных экземпляров средств измерений, могут существенно отличаться. Вместе с тем в разработанные ранее методы основаны на использовании зависимости средних экономических потерь от погрешности средств измерений одного типа.

Таким образом, выявлено противоречие между необходимостью обоснования межповерочных интервалов средств измерений и существующим научно-методическим аппаратом, не позволяющим в полной мере решить данную задачу.

С учетом представленных выше недостатков существующего научно-методического аппарата предлагается использовать оригинальный метод, который основан на формализации экономических затрат, необходимых на эксплуатацию средств измерений.

Следует отметить, что формализация экономических затрат на эксплуатацию средств измерений является дальнейшим развитием моделей квантования, предложенных в [1, 6]. Однако, в отличие от оригинала, в усовершенствованной модели учитывается, что каждая метрологическая характеристика в течение времени является случайной величиной, которая имеет свои числовые характеристики.

Рассмотрим некоторое средство измерений, для которого известны назначенный ресурс T и затраты на его поверку C .

Пусть процесс дрейфа в течение времени t каждой i -й метрологической характеристики описывается с помощью произвольной известной функции распределения $F_i(t)$. Поскольку отклонение любой метрологической характеристики от требований приводит к снижению точности измерений, а качественно точность измерений характеризуется близостью к нулю погрешности результата измерений, то будем полагать следующее: математическое ожидание $M_i[t]$ отклонения метрологической характеристики от требований будет равным 0; любое отклонение i -й метрологической характеристики от требований приводит к некоторой известной величине ущерба c_i из-за метрологической неисправности средства измерений.

Тогда функция экономических затрат на эксплуатацию средств измерений

$$M(t) = \left(\left[\frac{T}{t} + 1 \right] \left(\sum_{i=1}^N c_i F_i(t) \right) + C \right), \quad (1)$$

где N — количество метрологических характеристик средства измерений.

Дальнейшее обоснование межповерочного интервала сводится к решению оптимизационной задачи, связанной с нахождением минимума функции экономических затрат на эксплуатацию средства измерений при заданных значениях его метрологических характеристик.

На практике при разработке тактико-технического задания на новые средства измерений назначенный ресурс T , как правило, неизвестен. В таком случае, назначенный ресурс T может быть представлен в качестве случайной величины, имеющей свой закон распределения. С учетом этого формула (1) примет вид:

$$M(t) = \left(\sum_{i=1}^N c_i F_i(t) \right) + C \cdot \int_0^{\infty} \left[\frac{z}{t} + 1 \right] \cdot g(z) dz, \quad (2)$$

где $g(z)$ — плотность распределения случайной величины T .

Задача 1. Пусть требуется определить межповерочный интервал средства измерений при заданных значениях двух метрологических характеристик. Назначенный ресурс средства измерений составляет $T = 10$ [лет], а стоимость проверки средства измерений — $C = 10$ [у.е.].

Для первой метрологической характеристики величина ущерба из-за ее отклонения от требований составляет $c_1 = 2$ [у.е.], а функция дрейфа описывается нормальным законом распределения со среднеквадратическим отклонением $\sigma_1 = 3$ (см. рис. 1).

Для второй метрологической характеристики величина ущерба из-за ее отклонения от требований составляет $c_2 = 4$ [у.е.], тогда как функция дрейфа описывается экспоненциальным законом распределения со среднеквадратическим отклонением $\sigma_2 = 2$ (см. рис. 2).

Подставляя исходные данные в выражение (1), получим значение функции экономических затрат на эксплуатацию средства измерений. График функции экономических затрат показан на рис. 3. Отыскав минимум этой функции, получим, что оптимальный межповерочный интервал составляет 1 год.

Задача 2. Пусть требуется определить межповерочный интервал средства измерений при заданных значениях двух метрологических характеристик.

Для первой метрологической характеристики величина ущерба из-за ее отклонения от требований составляет $c_1 = 2$ [у.е.], а функция дрейфа описывается нормальным законом распределения со среднеквадратическим отклонением $\sigma_1 = 3$ (см. рис. 1).

Стоимость проверки средства измерений — $C = 10$ [у.е.]. А назначенный ресурс средства измерений неизвестен и подчинен нормальному закону распределения с математическим ожиданием $m_T = 10$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma_T = 1$.

С учетом вышесказанного, подставляем исходные данные в выражение (2). В результате получим значение функции экономических затрат на эксплуатацию средства измерений при неизвестном назначенном ресурсе. График полученной функции показан на рисунке 4. Отыскав минимум функции экономических затрат на эксплуатацию средства измерений, получим оптимальный межповерочный интервал, который составляет 2,7 года.

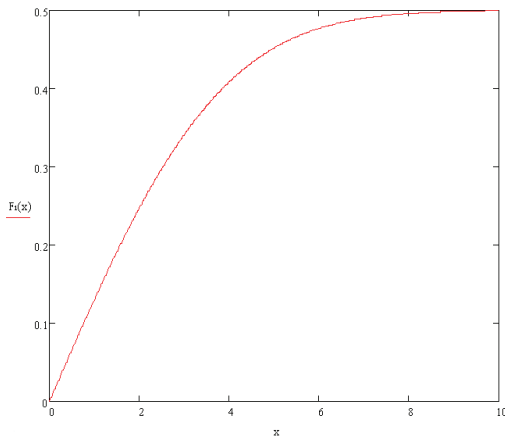


Рис. 1. Функция распределения процесса дрейфа первой метрологической характеристики средства измерений

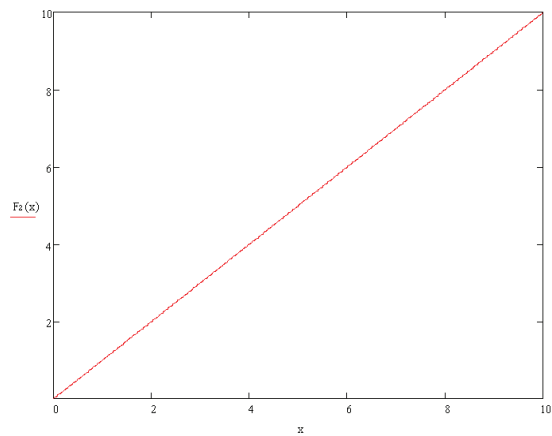


Рис. 2. Функция распределения процесса дрейфа второй метрологической характеристики средства измерений

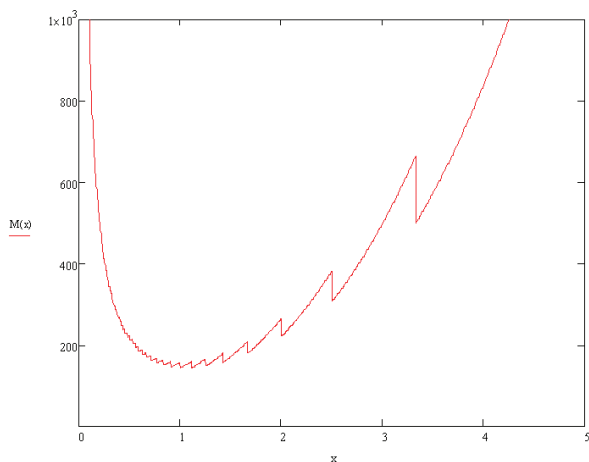


Рис. 3. Функция экономических затрат на эксплуатацию средства измерений

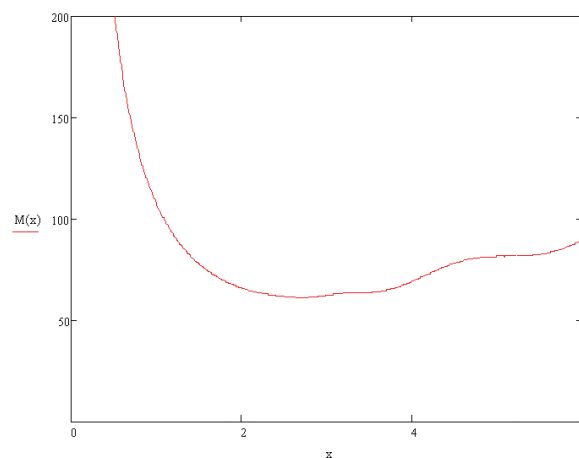


Рис. 4. Функция экономических затрат на эксплуатацию средства измерений при неизвестном назначенном ресурсе

Таким образом, предлагаемый метод представляет собой решение задачи оптимального определения времени эксплуатации средств измерений при заданных значениях метрологических характеристик. Данный метод основан на использовании модели экономических затрат, необходимых на эксплуатацию средств измерений. Эта модель учитывает экономические затраты на поверку средства измерений и ущерб из-за неточности измерений, а также случайный характер и неоднородность метрологических характеристик средства измерений.

На практике предлагаемый метод может быть использован для уточнения межповерочного интервала в тех случаях, когда необходимо использовать средства измерений за его пределами. Кроме того, метод можно применять при разработке тактико-технического задания на новые средства измерений, когда назначенный ресурс для них неизвестен.

Дальнейшее развитие метода может быть связано с определением величины ущерба из-за метрологической неисправности средства измерений. Для этого возможно использовать математический аппарат теории вероятностей и теории нечетких множеств.

Список литературы

1. Андронов А. М., Боков Т. Н. Оптимальное в смысле заполнения квантование информации // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1979. № 3. С. 154–158.
2. Бурдун Г. Д., Марков Б. Н. Основы метрологии. М.: Издательство стандартов, 1985. 256 с.
3. Гусеница Я. Н., Малахов А. В. Имитационная модель функционирования рекон-фигурируемых метрологических комплексов в условиях неопределенности информации о моментах поступления средств измерений на метрологическое обслуживание // Ученые записки КНАГТУ, т. 1, № 3–1(27). Комсомольск-на-Амуре., 2016. С. 32–46.
4. Кузнецов В. А., Исаев Л. К., Шайко И. А. Метрология. М.: Стандартиформ, 2005. 300 с.
5. Новиков А. Н., Нечай А. А., Малахов А. В. Математическая модель обоснования вариантов реконфигурации распределенной автоматизированной контрольно-измерительной системы // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление», 2016. Вып. 1–2. С. 56–59.
6. Смагин В. А., Шерстобитов С. А., Ширямов О. А. Определение гарантированной функции распределения величины кванта в задаче квантования информации // Информация и космос. 2016. № 2. С. 72–76.
7. Сычев Е. И., Храменков В. Н., Шкитин А. Д. Основы метрологии военной техники. М.: Военное издательство, 1993. 400 с.
8. Ченцова С. В. Расчет первичного межповерочного интервала по нормируемым показателям надежности средства измерений // Материалы XVIII Международной научно-практической конференции «Современные техника и технологии». 2012. С. 141–142.

METHOD OF JUSTIFICATION THE INTERVALS OF MEASURING INSTRUMENTS VERIFICATION

Gusenitsa Yaroslav Nikolaevich,
St. Petersburg, Russia, yaromir226@mail.ru

Sherstobitov Sergey Aleksandrovich,
St. Petersburg, Russia, radosti_yad@mail.ru

Malakhov Aleksandr Vladimirovich, St.
Petersburg, Russia, sanya-mal1@yandex.ru

Abstract

The paper analyzes the problem of choosing the verification interval measuring instruments, which depends on the level of metrological reliability of measuring instruments, and on the financial costs of verification of measuring instruments and possible damage due to inaccurate measurement results. The urgency of solving the problem of improving the scientific and methodological apparatus, which allows to determine the optimal duration of the recalibration interval of measurement for specified values of metrological characteristics is justified. The existing methods based on the use of formalized description of the dependence of the accuracy and metrological reliability of measurement of the average time of their achievements since the last calibration are explored. Revealed deficiencies that do not allow to fully solve the problem. It is proposed a method to determine the optimal duration of the verification interval of measurement for specified values of metrological characteristics. The model, based on the formalization of the economic costs, which are necessary for the operation of measuring instruments, is submitted. When optimizing the objective function is selected as a function of economic costs, which depends on the cost of calibration testing and damage due to inaccurate measurements. In addition, the objective function takes into account the random nature and heterogeneity of metrological characteristics of measuring instruments. As a result, the task of justification verification interval is reduced to finding the minimum of the objective function. Finally, a numerical example of the calculation verification interval measurement means on the basis of the proposed model is given.

Keywords: verification interval; measuring instrument; metrological support; periodic verification; function of economic expenses; metrological reliability.

References

1. Andronov A.M. Optimum quantization of information in sense of filling. *Izvestiya AN the USSR. Tehnicheskaya kibernetika*. 1979. No. 3. Pp. 154–158. (In Russian).
2. Burdun G.D. *Osnovi metrologii [Fundamentals of metrology]*. Moscow: Standards Publishing House. 1985. 256 p.
3. Gusenitsa Y.N., Malakhov A.V. Simulation model of reconfigurable metrological complexes functioning in the conditions of information uncertainty on the receipt of measurement funds for metrological service. *Uchenye zapiski Komsomolskogo-na-Amure gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 2016. Vol. 1. No. 3-1(27). Pp. 32–46. (In Russian).
4. Kuznecov V.A. *Metrologiya [Metrology]*. Moscow: Standartinform. 2005. 300 p.
5. Novikov A.N., Nechay A.A., Malakhov A.V. Mathematical model for justification of options reconfigurations of the distributed automated control and measurement system. *Vestnik Rosnou. Series «Complex systems: models, analysis, management»*. 2016. Vol. 1–2. Pp. 56–59. (In Russian).
6. Smagin V.A., Sherstobitov S.A., Shiryamov O.A. Defining the guaranteed distribution function for quantum size in the task of information quantification. *Information & Space*. 2016. No. 2. Pp. 72–76. (In Russian).
7. Sychev E.I. *Osnovi metrologii voennoi tehniki [Fundamentals of metrology military technology]*. Moscow: Voennoe izdatelstvo. 1993. 400 p.
8. Chencova S.V. Calculation of primary interval of measurement instrument verification for normalized reliability index. *Materials of the XVIIIth International Scientific-practical Conference «Modern Technics and Technology»*. Tomsk. 2012. Pp. 141–142. (In Russian).

Information about authors:

Gusenitsa Y.N., Ph.D., lecturer of Military Space Academy;
Sherstobitov S.A., postgraduate student in Department of metrological maintenance, Military Space Academy;
Malakhov A.V., postgraduate student in Department of metrological maintenance, Military Space Academy.

МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ВОЙСКОВОГО РЕМОНТА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ В ЗОНЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Допира Роман Викторович,

д.т.н., профессор, начальник отдела НПО «РУСБИТЕХ», г. Тверь, Россия, rvdopira@yandex.ru

Шароглазов Вадим Борисович,

преподаватель кафедры организации эксплуатации и технического обеспечения ВВСТ Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

Ягольников Д.Владимирович,

адъюнкт Военной академии воздушно-космической обороны имени Маршала Советского Союза Г. К. Жукова, г. Тверь, Россия, yagolnikov_dv@mail.ru

Архипов Анатолий Анатольевич,

преподаватель кафедры организации эксплуатации и технического обеспечения ВВСТ Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

Керницкий Александр Григорьевич,

преподаватель кафедры организации эксплуатации и технического обеспечения ВВСТ Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В течение длительного времени для новых образцов вооружения и военной техники противовоздушной обороны специальное оборудование для технического обслуживания и войскового ремонта не разрабатывалось. Находившиеся в эксплуатации ремонтные средства при сокращении войсковых ремонтных органов были свернуты и отправлены на хранение. В связи с этим проблема технологической поддержки технического обслуживания и ремонта вооружения и военной техники приобрела критический характер. Следовательно, в целях оснащения органов технического обслуживания и войскового ремонта вооружения и военной техники планируется иметь унифицированные ремонтно-диагностические комплексы и вспомогательные модули.

В статье предлагается подход к автоматизации и логистической поддержке при планировании использования по назначению разрабатываемых перспективных мобильных средств войскового ремонта и технического обслуживания вооружения и военной техники. Эффективность функционирования системы войскового ремонта вооружения и военной техники определяется составом ее элементов на каждом из уровней эшелонирования, а также способом распределением задач между элементами различных уровней. Элементом, наиболее существенно оказывающим влияние на эффективность функционирования системы войскового ремонта в целом, являются средства проведения технического обслуживания и ремонта, а именно комплект унифицированных средств технического обслуживания и войскового ремонта.

Потребность в мероприятиях по техническому обслуживанию и войсковому ремонту вооружения и военной техники планируется из годовых норм расхода ресурсов вооружения и военной техники, сроков хранения, установленной периодичности технического обслуживания и межремонтных сроков эксплуатации вооружения и военной техники, планов боевой подготовки и результатов проведенного контроля технического состояния образцов вооружения и военной техники и их составных частей. Требуется определить план применения комплекта унифицированных средств технического обслуживания и войскового ремонта, обеспечивающих минимизацию простоев вооружения и военной техники в зоне ответственности.

Так же в статье предлагается алгоритм оптимизации плана использования комплекта унифицированных средств технического обслуживания и войскового ремонта.

Ключевые слова: система войскового ремонта; планирование; распределение работ; унифицированный ремонтно-диагностический комплекс; метод.

Рост сложности новых образцов вооружения и военной техники (ВВТ), поступающих в воинские формирования противовоздушной обороны (ПВО) потребовал развития средств и технологий их технического обслуживания и войскового ремонта. Как показал анализ, на данный момент основная часть ремонтных средств «общего назначения» номенклатуры ГРАУ и ГАБТУ (КРАС, ПАРМ, СРЗА, МРТО и др.) морально устарели, по своим характеристикам не отвечают современным требованиям, выслужили установленные сроки службы и подлежат списанию. Количество и возможности имеющихся специализированных средств войскового ремонта (ПРБ 48Ш6, «Момент» 57П6, «Доктор» 5М79), которые возможно использовать при развёртывании войсковых ремонтных органов, также не соответствует современным потребностям войск. Существующие средства технического обслуживания и войскового ремонта не обеспечивают возможность войскового ремонта требуемого типажа ВВТ ПВО, имеют ограничения по номенклатуре ремонтируемых составных частей, видам проводимых работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту образцов ВВТ, не позволяют организовать проведение их комплексного ремонта.

Разрабатываемые в настоящее время комплекты унифицированных средств технического обслуживания и войскового ремонта (КУСТО и ВР) ГПТП «Гранит» воплотили в себе передовые технологии и должны заменить огромный парк морально устаревших средств войскового ремонта, став эффективным инструментом поддержания высокой готовности ВВТ ПВО [1].

КУСТО и ВР включает в себя ремонтно-диагностические комплексы (РДК):

«РДК-1(p_1)» — унифицированный модуль контроля, диагностики и ремонта типовых сменных элементов (ТСЭ) (ячеек, плат, субблоков и т.п.), радиоэлектронных блоков и устройств.

«РДК-2(p_2)» — модуль контроля, диагностики и ремонта элементов антенно-волноводных систем, высокочастотных трактов, высокочастотных ТСЭ и блоков.

«РДК-3(p_3)» — модуль контроля, диагностики и ремонта систем электропитания, внутрикабинных жгутов и кабелей, кабельного хозяйства.

«РДК-4(p_4)» — модуль дефектации и ремонта (заправки) электромеханических, механических и гидравлических узлов и деталей, кондиционеров, систем жидкостного охлаждения, пожаротушения и жизнеобеспечения образцов ВВТ.

«РДК-5(p_5)» — модуль ремонта средств подвижности и зарядки аккумуляторных батарей.

«РДК-6(p_6)» — модуль поверки и ремонта средств измерений и сосудов высокого давления.

«РДК-7(p_7)» — модуль размещения комплектов ЗИП автоматизированной системы управления (АСУ) и ремонтной документации.

Комплект унифицированных средств технического обслуживания и войскового ремонта предлагается использовать для оснащения ремонтно-восстановительных органов тактического и оперативного уровней.

Данный комплект должен предусматривать возможность размещения, как в транспортных средствах, так и в стационарных помещениях.

Таким образом, КУСТО и ВР представляет собой сложную техническую систему (СТС), эффективность которой зависит от характеристик ее элементов (РДК) и от организации их применения, т.е. распределения в пространстве и во времени реализации элементами системы своих функций (техническое обслуживание и ремонт), что можно рассматривать как организационное управление этой системой.

Обоснование рационального порядка (выбор рационального варианта организации) технического обслуживания и войскового ремонта ВВТ в условиях воздействия множества неблагоприятных факторов, характерных для современного этапа развития Вооруженных сил Российской Федерации, сопряжено со значительными трудностями. Вероятные ошибки и просчеты могут привести к значительным экономическим потерям, недопустимому снижению боеспособности войск. Мероприятия, предусмотренные для рациональной реализации, должны быть направлены на наиболее полное использование ресурса каждой единицы техники, сокращение трудоемкости и стоимости ремонтных работ.

Потребность в мероприятиях по техническому обслуживанию и войсковому ремонту ВВТ планируется из годовых норм расхода ресурсов ВВТ, сроков хранения, установленной периодичности технического обслуживания и межремонтных сроков эксплуатации ВВТ, планов боевой подготовки и результатов проведенного контроля технического состояния образцов ВВТ и их составных частей [2].

Планирование применения КУСТО и ВР осуществляется из потребностей в техническом обслуживании и войсковом ремонте и с учетом состояния РДК и их производительности.

Эффективность функционирования системы войскового ремонта ВВТ ПВО определяется составом ее элементов на каждом из уровней эшелонирования, а также способом распределением задач между элементами различных уровней. Элементом, наиболее существенно оказывающим влияние на эффективность функционирования системы войскового ремонта в целом, являются средства проведения технического обслуживания и войскового ремонта, а именно КУСТО и ВР.

В данной статье эффективность планирования применения КУСТО и ВР достаточно полно может быть оценена продолжительностью пребывания образца ВВТ в нерабочем состоянии.

В математической постановке задачи можно сформулировать следующим образом.

Требуется определить план (Y) применения комплекта унифицированных средств технического обслуживания и войскового ремонта (P), обеспечивающих минимизацию простоев (Z) ВВТ (S) в зоне ответственности:

$$Z(S|Y(P,S)) \xrightarrow{Y} \min \quad (1)$$

$$S \subseteq Sp \quad (2)$$

где S — состав ВВТ группировки ПВО, планируемый на проведение технического обслуживания и войскового ремонта с привлечением КУСТО и ВР в зоне его ответственности;

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_7\}$ — состав РДК КУСТО и ВР;

Sp — состав ВВТ ПВО в зоне ответственности КУСТО и ВР.

Целевую функцию можно представить выражением:

$$Z(S|Y(P,S)) = \sum_{s \in Sp} \gamma_s [t_k(s|Y(P,S)) - t_n(s|Y(P,S))], \quad (3)$$

где $t_k(S|Y)$ — время завершения мероприятий по ТО и ВР на объекте ВВТ $S \in Sp$;

$t_n(s|Y(P,S))$ — планируемое время начала мероприятий по техническому обслуживанию и войсковому ремонту на объекте ВВТ s ;

γ_s — весовые коэффициенты важности объектов ВВТ $S \in Sp$.

Планируемое время начала мероприятий по техническому обслуживанию и войсковому ремонту определяется в результате мониторинга технического состояния образцов ВВТ и их составных частей и определяет ранний срок начала этих мероприятий [3].

Реальный срок начала мероприятий по техническому обслуживанию и войсковому ремонту определяется возможностями и загрузкой РДК, которые приступают к выполнению мероприятий по мере завершения таковых на предыдущих объектах ВВТ:

$$t_n^p(s|Y(P,S)) = \max(t_n(s), t_{np}(p,s)), \quad (4)$$

где $t_{np}(P,S)$ — время прибытия РДК p на объект ВВТ s .

Время прибытия РДК представлено формулой:

$$t_{np}(p,s) = t_{осв}(p) + \tau^{дв}(d(s'), d(p)) + \tau_{компл}(p) + \tau^{дв}(d(p), d(s')) \quad (5)$$

где $t(p)$ — время освобождения РДК $p \in P$ от предыдущих работ;

$d(p)$ — пункт дислокации РДК $p \in P$;

$d(s)$ — пункт дислокации объекта ВВТ $s \in Sp$;

$\tau^{дв}(d(s'), d(p))$ — время движения с пункта предыдущих работ $d(s')$ к пункту дислокации РДК $p \in P$;

$\tau_{компл}(p)$ — время на укомплектование оснасткой РДК $p \in P$ для работ.

С учетом изложенного время завершения мероприятий по техническому обслуживанию и войсковому ремонту на объекте ВВТ S можно представить выражением:

$$t_k(s|Y(S,P)) = \max_{p \in P} (t_n^p(S|Y(S,P)) + \tau(s,p)) + \tau_{kn}(s|Y(S,P)), \quad (6)$$

где $\tau(s,p)$ — время работ $p \in P$ на объекте ВВТ $s \in Sp$;

$\tau_{kn}(s|Y(P,S))$ — время комплексной наладки и проверки работоспособности объекта ВВТ $s \in Sp$ после проведения мероприятий по техническому обслуживанию и войсковому ремонту.

Весовые коэффициенты γ_s , $s \in Sp$ могут определяться экспертным путем, с учетом характеристик $x(s)$ объекта ВВТ, его места и роли в группировке ПВО.

При выборе в качестве γ_s стоимости объектов ВВТ, т.е. $\gamma_s = c(s)$ целевая функция отражает упущенную выгоду из-за простоев ВВТ в неисправном состоянии, или стоимость необходимой избыточности в объектах ВВТ для компенсации простоев /1, 2/.

План применения РДК для технического обслуживания и войскового ремонта ВВТ можно представить $s \in S$ матрицей назначений $Y = \|t_{ps}\|$ $s \in S, p \in P$, где t_{ps} — время начала мероприятий РДК $p \in P$ на объекте ВВТ. Если РДК $p \in P$ не привлекается к работам на объекте $s \in S$, то полагаем $t_{ps} = Tп$, где $[0, Tп]$ — интервал планирования.

Сложный характер целевой функции Z не позволяет применить точные методы решения задачи (1)–(2), поэтому предлагается приближенный алгоритм ее решения.

В основу алгоритма оптимизации плана $Y(P,S)$ положен принцип максимального снижения целевой функции Z при каждом назначении [4].

Для решения задачи планирования используем следующий алгоритм [5]:

1. Ввод исходных данных:

$$S, P, t_{\text{осв}}(p), \tau(s, p), t_n(s).$$

2. Определение очередного назначения:

$$s^* = \arg \min_{s \in S} Z(s | Y(s, P)) Z(s | Y(s, P)).$$

3. Определение времени выполнения мероприятий на объекте ВВТ s^* :

$$t_k(s^* | Y(s^*, P)).$$

4. Корректируем состояние привлекаемых РДК:

$$t_{\text{осв}}(P) = t_n^p(s^*) + \tau(s^*, P)$$

$$d(p) = d(s^*).$$

5. Исключение s^* из множеств S :

$$S = S \setminus \{s^*\}.$$

6. Если $S \neq \emptyset$, то переход к п. 2.

7. Завершение расчетов. Печать результатов.

Ожидаемый эффект, достигаемый при использовании разрабатываемого метода планирования применения КУСТО и ВР: повышение производительности и функциональных возможностей по техническому обслуживанию и войсковому ремонту эксплуатируемых образцов ВВТ;

обеспечение восполнения ресурса эксплуатируемого ВВТ — до 12%;

повышение оперативности восстановления ВВТ (в 2–5 раз) и уровня готовности образцов;

снижение стоимости эксплуатации парка ВВТ на 20–30%.

Реализовать предложенный метод можно на базе АСУ КУСТО и ВР.

Список литературы

1. *Страхов А. Ф., Прокопченко А. В., Плюшева М. Г., Ломаченко С. А.* Комплекс унифицированных средств войскового ремонта. Патент на изобретение № 2427020 от 20.08.2011 г.
2. *Арепин Ю. И., Смоляков А. А., Допира Р. В., Щербинко А. В.* Построение АСУ инженерно-радиоэлектронным обеспечением ВМФ // Ремонт, восстановление, модернизация. Москва. 2006. № 4. С. 27–32.
3. *Арепин Ю. И., Смоляков А. А., Допира Р. В.* Военная кибернетика: методология создания автоматизированных систем управления техническим обеспечением. Монография, ЗАО НИИ «Центрпрограммсистем». г. Тверь, 2006 г. 204 с.
4. *Коган Д. И.* Задачи и методы конечномерной оптимизации. Учебное пособие. Часть 3. Министерство образования РФ, Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. Нижний Новгород, 2004 г. 415 с.
5. *Бурков В. Н., Коргин Н. А., Новиков Д. А.* Введение в теорию управления организационными системами. М.: Либроком, 2009. 264 с.

METHOD OF PLANNING OF APPLICATION OF PERSPECTIVE MEANS OF ARMY REPAIR AND MAINTENANCE OF ARMS AND MILITARY EQUIPMENT OF ANTI-AIRCRAFT DEFENSE IN THE RESPONSIBILITY ZONE

Dopira Roman Viktorovich, Tver, Russia, rvdopira@yandex.ru

Sharoglazov Vadim Borisovich, St. Petersburg, Russia

Yagolnikov Dmitry Vladimirovich, Tver, Russia, yagolnikov_dv@mail.ru

Archipov Anatoliy Anatolyevich, St. Petersburg, Russia

Kernitckiy Aleksandr Grigoryevich, St. Petersburg, Russia

Abstract

For a long time the special equipment for maintenance and army repair was not developed for new samples of arms and military equipment air defense. The repair means which were in operation at reduction of army repair bodies were curtailed and put in order on storage. In this regard the problem of technological support of maintenance and repair of arms and military equipment gained critical character.

Therefore, with a view of equipment of bodies of maintenance and army repair of arms and military equipment it is planned to have the unified repair and diagnostic complexes and auxiliary modules.

In article the approach to automation and logistic support when planning use of to destination developed perspective mobile means of army repair and arms and military equipment maintenance is offered. Efficiency of functioning of system of army repair of arms and military equipment is defined by structure of its elements on each of eshelonirovaniye levels, and also way distribution of tasks between elements of various levels. An element most essentially influencing efficiency of functioning of system of army repair as a whole, means of carrying out maintenance and repair, namely a set of the unified means of maintenance and army repair (UMM and AR).

The need for actions for maintenance and army repair is planned by arms and military equipment from annual norms of an expense of arms and military equipment resources, the periods of storage, the established periodicity of maintenance and reserve maintenance periods of operation of arms and military equipment, plans of combat training and to results of the carried-out control of a technical condition of samples of arms and military equipment and their components. It is required to define the plan of application of UMM and AR providing minimization of idle times of arms and military equipment in a zone of responsibility.

As in article it is offered algorithm of optimization of the plan of use of UMM and AR.

Keywords: system of army repair; planning; distribution of the works; the unified repair and diagnostic complex; a method.

References

1. Strahov A.F., Prokopchenko A.V., Plyusheva M. G., Lomachenko S. A. A complex of the unified means of army repair. The patent for the invention No. 2427020 from 8/20/2011. (In Russian).
2. Arepin Y.I., Smolyakov A.A., Dopira R.V., Shcherbinko A.V. Creation of an automated control system by engineering and radio-electronic providing Navy. Repair, maintenance, modernization. Moscow. 2006. No. 4. Pp. 27-32. (In Russian).
3. Arepin Yu.I., Smolyakov A.A., Dopira R. V. Military cybernetics: methodology of creation of automated control systems for technical providing. Monograph, Scientific Research Institute "Tsenrtrprogrammssystem". Tver, 2006. 204p. (In Russian).
4. Kogan D. I. Tasks and methods of final optimization. Manual. Part 3. The Ministry of Education of the Russian Federation, the Nizhny Novgorod state university of N .I. Lobachevsky. Nizhny Novgorod, 2004. 415 p. (In Russian).
5. Burkov V. N., Korgin N. A., Novikov D. A. Introduction in the theory of management of organizational systems. Moscow: Librok, 2009. 264 p. (In Russian).

Information about authors:

Dopira R. V., Doctor of Technical Sciences, professor, head of department, JSC «NPO «RUSBITEKH»;

Sharoglazov V. B., lecturer in Department of the organization of operation and technical providing arms of military and special equipment, Military Space Academy;

Yagolnikov D. V., graduate student, Military academy of aerospace defense;

Archipov A. A., lecturer in Department of the organization of operation and technical providing arms of military and special equipment, Military Space Academy;

Kernitckiy A. G., lecturer in Department of the organization of operation and technical providing arms of military and special equipment, Military Space Academy.

МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ КАК ПОДХОД К СНИЖЕНИЮ ГАРАНТИРОВАННОГО ВРЕМЕНИ ДОВЕДЕНИЯ В ОДНОСТОРОННЕЙ ЦИРКУЛЯРНОЙ РАДИОСЕТИ ОПОВЕЩЕНИЯ

Цимбал Владимир Анатольевич,

*д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизированных систем управления
Филиала военной академии РВСН имени Петра Великого, г. Серпухов, Россия, tsimbalva@mail.ru*

Попов Михаил Юрьевич,

*к.т.н., докторант Филиала военной академии РВСН имени Петра Великого,
г. Серпухов, Россия, vetoiskin@mail.ru*

Подлегаев Александр Вячеславович,

*старший преподаватель кафедры автоматизированных систем управления
Филиала военной академии РВСН имени Петра Великого, г. Серпухов, Россия, vetoiskin@mail.ru*

Аннотация

Предметом исследования является подход к снижению времени гарантированного доведения сообщения в односторонней циркулярной сети оповещения с повторениями и накоплением информации на базе механизма управления скоростью (МУС) передачи повторов сообщения (кадров), учитывающего вклад в достоверность доведения, формируемого при мажоритарной обработке накапливаемых повторов сообщений в логическом приемнике абонентской станции сети.

В результате исследования установлено: существует «баланс» между значениями скоростей передачи повторов сообщения, временем доведения и вероятностью доведения сообщения в рассматриваемой системе.

Установлено, что доведение повторами и накопление их в логическом приемнике абонентской станции сети определяет алгоритм повышения достоверности (алгоритм дообработки мажоритарными проверками). Данный алгоритм формирует потенциальные возможности радиотракта в части достоверности принимаемой информации, реализовать которые может разработанный МУС передачи повторов сообщений в рассматриваемой радиосети.

Разработан МУС путем постановки и решения оптимизационной задачи, представляющей собой систему уравнений и неравенств. Данная система включает: 1) функцию вероятности доведения сообщения с учетом работы реализованного алгоритма, повышающего достоверность, от скоростей передачи повторов сообщений; 2) функцию времени доведения сообщения от скоростей передачи повторов сообщений (является минимизируемой функцией); 3) неравенства-ограничения - логические условия нахождения искомого аргументов (скоростей передачи сообщений); 4) начальные приближения аргументов. Функции вероятности доведения и времени доведения являются целевыми. Система решена численным методом, в результате решения получены распределения скоростей передачи повторов сообщений, обеспечивающие требования по вероятности доведения. Обоснованы теоретические границы применимости МУС в зависимости от вероятности ошибки элементарного символа в канале связи. Произведена оценка полученных результатов. Выявлено, что МУС может быть использован в односторонних системах передачи данных с повторениями и накоплением информации, использующих помехоустойчивое кодирование для снижения гарантированного времени доведения.

Ключевые слова: командная радиосеть; механизм управления скоростью передачи повторов сообщения; оптимизация.

Введение. Назовем рассматриваемую одностороннюю циркулярную сеть оповещения с повторениями и накоплением информации командной радиосетью (КР) [1]. Подход, представленный в статье, формирует «баланс» между значениями скоростей передачи физических повторов сообщений (ФПС) (кадров) [2]), временем доведения ($t_{дог}$) и вероятностью доведения сообщения ($P_{дог}$) в КР. «Баланс» возможен в связи со следующим теоретическим противоречием: с увеличением скорости передачи ФПС (V) уменьшается ($t_{дог}$) (улучшается оперативность), но уменьшается отношение сигнал/шум на входе приемного устройства, что снижает вероятность битовой ошибки p_0 , что понижает ($P_{дог}$), и наоборот. Найти «баланс» возможно посредством введения механизма управления скоростью (МУС) передачи ФПС. МУС может существовать в связи с особенностями организации процесса доведения сообщения в КР и реализованного алгоритма повышения достоверности в блоке логической обработки (БЛО) логического приемника (ЛП) абонентской станции (АС) КР. Процедура повышения достоверности построена на базе поразрядного мажоритирования накапливаемых ФПС и представляет собой алгоритм дообработки мажоритарными проверками (МП) (АДМП) [3]. Таким образом, МУС использует «запас» достоверности, формируемый АДМП на шагах процесса доведения, для изменения скорости передачи ФПС при фиксированной вероятности доведения сообщения.

Вербальное описание процесса доведения. Доведение информации к АС зоны оповещения КР, осуществляется передачей конечного числа ФПС — M . Длина каждого ФПС l [бит], передача ФПС осуществляется передающим радиоцентром (ПДРЦ) со скоростью передачи V [бит/с], каждый символ сообщения превращается в сигнал с заданным видом модуляции (ОФМн) и излучается в эфир. Качество дискретного канала связи от ПДРЦ к АС (соединение «точка-точка») характеризуется вероятностью ошибки элементарного символа p_0 . На каждой АС расположен ЛП. В ЛП радиосигналы обрабатываются (демодулируются) в блоке обработки сигнала, согласно используемому методу демодуляции, при этом сформированные символы поступают в декодер повтора сообщения (ДПС). В ДПС осуществляется декодирование ФПС согласно используемому алгоритму. Если ошибок в ФПС нет или они все исправлены (или не обнаружены), то декодированное сообщение из ДПС выдается получателю сообщения. Если ошибки есть, то данный ФПС поступает в блок логической обработки (БЛО) ЛП АС. Когда БЛО накопил три и более ФПС, то начинает работать АДМП, формирующий логические повторы сообщений (ЛПС), поступающие в ДПС на декодирование [3].

Формальная постановка задачи. Пусть в рассматриваемой КР: $M = 8$; вид манипуляции — ОФМн; длина ФПС $l = 100$ [бит]; в БЛО ЛП АС реализован АДМП, рассмотренный в [3]; скорость передачи 1, 2 и 3-го ФПС равна $V=1$ [ул. един.]; передача 4, 5, 6, 7 и 8-го ФПС осуществляется со скоростями: V_4, V_5, V_6, V_7, V_8 , мощность сигнала на входе приемника $P_c = 1.4$ [Вт], спектральная плотность мощности шума $N_0 = 1$ [Вт/Гц], $\Rightarrow p_0 = 0.5 e^{-h_0^2/V} = 0.123$, где $h_0^2 = P_c/N_0$. Необходимо найти:

$$V^* = (V_4^*, V_5^*, V_6^*, V_7^*, V_8^*) = \arg \min_{(V_4^*, V_5^*, V_6^*, V_7^*, V_8^*)} t_{дог}(V_4^*, V_5^*, V_6^*, V_7^*, V_8^*) \quad (1)$$

при: $p|_8(V_4^*, V_5^*, V_6^*, V_7^*, V_8^*) = 0.9$; $V_4^* \leq V_5^* \leq V_6^* \leq V_7^* \leq V_8^*$.

Таким образом, необходимо найти значения (распределение) скоростей передачи 4,5,6,7,8 ФПС ($V^* = (V_4^*, V_5^*, V_6^*, V_7^*, V_8^*)$), при которых обеспечивается минимально возможное время доведения $t_{дог}(V_4^*, V_5^*, V_6^*, V_7^*, V_8^*) \rightarrow \min$, при обеспечении требуемой вероятности доведения $p|_8(V_4^*, V_5^*, V_6^*, V_7^*, V_8^*) = 0.9$ (требование) в существующей области ограничений $V_4^* \leq V_5^* \leq V_6^* \leq V_7^* \leq V_8^*$ (ограничение) и допущений.

Допущения: – каждый ФПС из радиоканала получается независимым друг от друга образом; – каждый забракованный ДПС ФПС накапливается в БЛО ЛП АС; – p_0 на разрядах одного ФПС есть $const$, а p_0 на разрядах разных ФПС может быть $p_0 \neq const$; – время получения одного ФПС намного больше времени реализации АДМП в БЛО; – при получении текущего множества ФПС сообщение считается доведенным, если хотя бы один ФПС доведен или если ни один из полученных ФПС не доведен, то хотя бы один ЛПС, сформированный АДМП на текущем множестве полученных ФПС, должен быть доведен.

Отметим, что АДМП устанавливает порядок проведения каждого из типов МП [3] и их множества на накопленных ФПС в БЛО ЛП АС. АДМП формируется с учетом правила формирования МП (т.е. перечня типов МП и их количества), проводимых на множестве накопленных БЛО ФПС. МП — проверка, осуществляющая мажоритирование (мажорирование) одноименных разрядов накапливаемых ФПС. Она является процедурой обработки разрядов ФПС, всегда формирующей жесткое решение [1,4,5]. Причем, каждая МП формирует ЛПС - повтор сообщения, получаемый в результате проведения МП в БЛО ЛП АС [2]. Количество ЛПС на множестве накопленных ФПС, поступающих в ДПС, есть следствие работы реализованного в БЛО АДМП. Суть АДМП подробно описана в [3].

Решение поставленной задачи. Опишем функции $p|_8(V_4^*, V_5^*, V_6^*, V_7^*, V_8^*)$ и $t_{дог}(V_4^*, V_5^*, V_6^*, V_7^*, V_8^*)$. Пусть ошибки элементарных символов в 4, 5, 6, 7 и 8-м ФПС, переданных со скоростями V_4, V_5, V_6, V_7, V_8 , равны:

$$p_0|_3(V_4) = \frac{1}{2} e^{-[P_c/N_0 V_4]}, \dots, p_0|_7(V_8) = \frac{1}{2} e^{-[P_c/N_0 V_8]}, \Rightarrow$$

вероятности доведения ФПС: $p|_{4\text{ФПС}}(V_4) = (1 - p_0|_3(V_4))^4, \dots, p|_{8\text{ФПС}}(V_8) = (1 - p_0|_7(V_8))^8$

Функция $p|_8(V_4, V_5, V_6, V_7, V_8)$ сложная, и для ее определения необходимы: – номера ФПС и p_0 в них; – перечень ФПС, по которым выносит решение МП (формируется ЛПС), – перечень ЭЛПС и их количество, – ЛВО в ЭЛПС, где: ЛВО — логическая вероятность ошибки — вероятность ошибки элементарного символа в ЛПС [2]; ЭЛПС — эквивалентные логические повторы сообщения — логические повторы сообщения, ЛВО которых одинаковы. Функция $p|_8(V_4, V_5, V_6, V_7, V_8)$ описывается на базе теорем теории вероятностей [5] и имеет вид:

$$\begin{aligned}
 p|_8(V_4, V_5, V_6, V_7, V_8) = & 1 - (1 - p|_{18})^3 (1 - p|_{48}) (V_4) (1 - p|_{58}) (V_5) (1 - p|_{68}) (V_6) \cdot \\
 & \cdot (1 - p|_{78}) (V_7) (1 - p|_{88}) (V_8) (1 - p|_3^{(2/3)|_{1,2,3}})^1 (1 - p|_4^{(2/3)|_{1,2,3}})^3 (1 - p|_5^{(2/3)|_{1,2,3}})^3 (1 - p|_5^{(2/3)|_{1,4,5}})^3 \cdot \\
 & \cdot (1 - p|_5^{(3/5)|_{1,2,3,4,5}})^1 (1 - p|_6^{(2/3)|_{1,2,6}})^3 (1 - p|_6^{(2/3)|_{1,4,6}})^3 (1 - p|_6^{(2/3)|_{1,5,6}})^3 (1 - p|_6^{(2/3)|_{4,5,6}})^1 (1 - p|_6^{(3/5)|_{1,2,3,4,6}})^1 \cdot \\
 & \cdot (1 - p|_6^{(3/5)|_{1,2,3,5,6}})^1 (1 - p|_6^{(3/5)|_{1,2,4,5,6}})^3 (1 - p|_7^{(2/3)|_{1,2,7}})^3 (1 - p|_7^{(2/3)|_{1,4,7}})^3 (1 - p|_7^{(2/3)|_{1,5,7}})^3 (1 - p|_7^{(2/3)|_{1,6,7}})^3 \cdot \\
 & \cdot (1 - p|_7^{(2/3)|_{4,5,7}})^1 (1 - p|_7^{(2/3)|_{4,6,7}})^1 (1 - p|_7^{(2/3)|_{5,6,7}})^1 (1 - p|_7^{(3/5)|_{1,4,5,6,7}})^3 (1 - p|_7^{(3/5)|_{1,2,5,6,7}})^3 (1 - p|_7^{(3/5)|_{1,2,4,6,7}})^3 \cdot \\
 & \cdot (1 - p|_7^{(3/5)|_{1,2,4,5,7}})^3 (1 - p|_7^{(3/5)|_{1,2,3,6,7}})^1 (1 - p|_7^{(3/5)|_{1,2,3,5,7}})^1 (1 - p|_7^{(3/5)|_{1,2,3,4,7}})^1 (1 - p|_7^{(4/7)|_{1,2,3,4,5,6,7}})^1 \cdot \\
 & \cdot (1 - p|_8^{(2/3)|_{1,2,8}} (V_8))^3 (1 - p|_8^{(2/3)|_{1,4,8}} (V_4, V_8))^3 (1 - p|_8^{(2/3)|_{1,5,8}} (V_5, V_8))^3 (1 - p|_8^{(2/3)|_{1,6,8}} (V_6, V_8))^3 \cdot \\
 & \cdot (1 - p|_8^{(2/3)|_{1,7,8}} (V_7, V_8))^3 (1 - p|_8^{(2/3)|_{4,5,8}} (V_4, V_5, V_8))^1 (1 - p|_8^{(2/3)|_{4,6,8}} (V_4, V_6, V_8))^1 (1 - p|_8^{(2/3)|_{4,7,8}} (V_4, V_7, V_8))^1 \cdot \\
 & \cdot (1 - p|_8^{(2/3)|_{5,6,8}} (V_5, V_6, V_8))^1 (1 - p|_8^{(2/3)|_{5,7,8}} (V_5, V_7, V_8))^1 (1 - p|_8^{(2/3)|_{6,7,8}} (V_6, V_7, V_8))^1 (1 - p|_8^{(3/5)|_{1,2,3,4,8}} (V_4, V_5, V_6, V_7, V_8))^1 \cdot \\
 & \cdot (1 - p|_8^{(3/5)|_{1,2,3,5,8}} (V_5, V_8))^1 (1 - p|_8^{(3/5)|_{1,2,3,6,8}} (V_6, V_8))^1 (1 - p|_8^{(3/5)|_{1,2,3,7,8}} (V_7, V_8))^1 (1 - p|_8^{(3/5)|_{1,2,4,5,8}} (V_4, V_5, V_6, V_7, V_8))^1 \cdot \\
 & \cdot (1 - p|_8^{(3/5)|_{1,2,4,6,8}} (V_4, V_6, V_8))^3 (1 - p|_8^{(3/5)|_{1,2,4,7,8}} (V_4, V_7, V_8))^3 (1 - p|_8^{(3/5)|_{1,2,5,6,8}} (V_5, V_6, V_8))^3 \cdot \\
 & \cdot (1 - p|_8^{(3/5)|_{1,2,5,7,8}} (V_5, V_7, V_8))^3 \cdot (1 - p|_8^{(3/5)|_{1,2,6,7,8}} (V_6, V_7, V_8))^3 (1 - p|_8^{(3/5)|_{1,4,5,6,8}} (V_4, V_5, V_6, V_8))^3 \cdot \\
 & \cdot (1 - p|_8^{(3/5)|_{1,4,5,7,8}} (V_4, V_5, V_7, V_8))^3 (1 - p|_8^{(3/5)|_{1,4,6,7,8}} (V_4, V_6, V_7, V_8))^3 (1 - p|_8^{(3/5)|_{1,5,6,7,8}} (V_5, V_6, V_7, V_8))^3 \cdot \\
 & \cdot (1 - p|_8^{(3/5)|_{4,5,6,7,8}} (V_4, V_5, V_6, V_7, V_8))^1 (1 - p|_7^{(4/7)|_{1,2,3,4,5,6,8}} (V_4, V_5, V_6, V_8))^1 (1 - p|_7^{(4/7)|_{1,2,3,4,5,7,8}} (V_4, V_5, V_7, V_8))^1
 \end{aligned} \tag{2}$$

где $p|_8^{(2/3)|_{1,2,8}} (V_8) = (1 - p_0|_8^{(2/3)|_{1,2,8}} (V_8))^1$ — вероятность доведения ЛПС, сформированного МП типа 2/3 по одноименным разрядам 1, 2 и 8-го ФПС; $p_0|_8^{(2/3)|_{1,2,8}} (V_8) = p_0^2 p_0|_7 (V_8) + p_0^2 (1 - p_0|_7 (V_8)) + 2 p_0 p_0|_7 (V_8) (1 - p_0)$ — ЛВО в данном ЛПС; другие вероятности описываются аналогичным способом.

Определим функцию времени доведения сообщения в соединении «точка-точка» так:

$$t_{доо}(V_4, V_5, V_6, V_7, V_8) = 3 \cdot l/V + l/V_4 + l/V_5 + l/V_6 + l/V_7 + l/V_8 \cdot$$

Тогда, имеем следующую систему выражений:

$$\begin{cases} t_{доо}(V_4^*, V_5^*, V_6^*, V_7^*, V_8^*) \rightarrow \min \\ p|_8(V_4^*, V_5^*, V_6^*, V_7^*, V_8^*) = 0.9 \\ V_4^* \leq V_5^* \leq V_6^* \leq V_7^* \leq V_8^* \\ V^* = (V_4^*, V_5^*, V_6^*, V_7^*, V_8^*) - ? \end{cases} \tag{3}$$

В результате решения: $V^* = V_1^* = (1.601, 1.601, 1.601, 1.601, 1.601)$ и $t_{доо}(V_1^*) = 612.155$.

Задачи такой постановки является задачами поиска экстремума функции. Общая проблема поиска экстремума функции включает в себя задачи нахождения локального и глобального экстремума. Последние называют задачами оптимизации. Если область определения функции задаются ограничениями значений аргументов, в таком случае говорят о «задаче на условный экстремум». Следовательно, V_1^* является локальным экстремумом функции. При минимизации сложных функций применяются численные методы. Для решения описанной задачи был применен численный градиентный алгоритм —

метод сопряженных градиентов. Данный метод является двухшаговым. Метод обладает хорошей скоростью сходимости и подробно описан в [6]. Данная система решена в программной среде Mathcad [7].

Определение глобального экстремума функции. Задача определения глобального экстремума предполагает отсутствие ограничения $V_4^* \leq V_5^* \leq V_6^* \leq V_7^* \leq V_8^*$. Решение может находиться таким путем [6]. Пусть V_4, V_5, V_6, V_7, V_8 лежат в области от $1V$ до $1.5V$, с шагом изменения $0.5V$ (эти данные формируют область начальных приближений, необходимых для решения данной задачи). Тогда рассматриваемую область значений скоростей будем сканировать с указанным шагом и вычислять все значения времени доведения, удовлетворяющие требованию $p|_8(V_4^*, V_5^*, V_6^*, V_7^*, V_8^*) = 0.9$. Выберем из найденных времен доведения наименьшее значение, соответствующее этому времени распределения аргумента (скоростей), которое будет обеспечивать минимум времени доведения. В результате найдены 32 варианта распределений, из которых единственное $V^* = V_2^* = (83.302, 83.301, 0.724, 0.724, 83.301)$ и обеспечивает наименьшее время $t_{доо}(V_2^*) = 579.622$ (V_2^* фактически является значениями аргумента, обеспечивающими локальный экстремум исследуемой функции, но в области более «широких» значений аргумента). Отметим, что если сканирование по аргументам функции осуществлять по другим значениям и (или) другим интервалам аргументов, то значение V_2^* будет, возможно, другим.

Оценка «платы» за достигнутое время доведения. Оценивать «плату» за обеспечение полученного времени можно разницей между вероятностями доведения сообщения в динамике получения ФПС, полученными без МУС ($p|_i$) и с МУС ($p|_i'$); фактически — это вероятностно-временные характеристики (ВВХ) [8], полученные без МУС (при $V = const$) и учитывающие МУС. Выражения $p|_i$ и $p|_i'$ формируются таким же способом, как (2). Чтобы понимать, сколько «в среднем» «платим» вероятностью доведения за достигнутое время доведения, введем следующие коэффициенты:

$$K1 = \left(1 - \frac{p|_M'}{p|_M}\right) \cdot 100\%; \quad K2 = \left(1 - \frac{t_{доо}|_M'}{t_{доо}|_M}\right) \cdot 100\% ,$$

где $p|_M, p|_M'$ — вероятности доведения сообщения за M ФПС без введения МУС и с МУС; $t_{доо}|_M, t_{доо}|_M'$ — времена доведения сообщения за M ФПС без введения МУС и с МУС (в единицах времени). Коэффициент $K1$ характеризует «плату» вероятностью доведения в %, $K2$ характеризует «выигрыш» во времени доведения в % от времени доведения без МУС.

В рамках решенной задачи получены: — для распределения V_1^* : $K1 = 10\%$, $K2 = 23,480\%$, плата ВВХ по шагам процесса $i = \overline{1,8}$ составляет: $p|_i - p|_i' = (0 \ 0 \ 0 \ 0.0346 \ 0.237 \ 0.596 \ 0.463 \ 0.0999)$; — для распределения V_2^* : $K1 = 10\%$, $K2 = 27,547\%$, плата ВВХ по шагам процесса составляет: $(0 \ 0 \ 0 \ 0.0405 \ 0.299 \ 0.620 \ 0.158 \ 0.1)$.

Распределения V_1^* и V_2^* можно представить распределениями длительностей элементарных символов ФПС, тогда МУС может интерпретироваться как *механизм управления длительностью элементарных символов ФПС*.

Сущность найденных распределений. Итак, при $\exists V_4^* \leq V_5^* \leq V_6^* \leq V_7^* \leq V_8^*$ найдено распределение V_1^* , при $\exists V_4^* \leq V_5^* \leq V_6^* \leq V_7^* \leq V_8^*$ найдено другое распределение V_2^* , причем $t_{доо}(V_1^*) < t_{доо}(V_2^*)$. Следовательно, распределение V_2^* является «лучшим», чем V_1^* , но распределение V_2^* получено при других ограничениях. Распределение V_2^* показывает то, что для обеспечения требуемой вероятности доведения достаточно со скоростью $0,724V$ принять 5 и 6-ой ФПС, а 4, 7 и 8-м ФПС можно пренебречь, т.к. $p_0 \approx 0,492$ при скорости $83V$ (для ОФМн). Из этого следует, что возможны два подхода к обеспечению минимального гарантированного времени доведения. Первый — реализовать увеличение скорости передачи, второй — реализовать уменьшение скорости передачи (торможение скорости передачи). Таким образом, для $p_0 = [p_{0 \min}, p_{0 \max}]$, характеризующей канал связи (КС), можно определить те значения p_0 , при которых либо целесообразно осуществлять ускорение скорости передачи ФПС, либо осуществлять торможение скорости передачи. Следовательно, можно выявить и границы применения МУС с ускорением и торможением в зависимости от p_0 . Решим данную задачу — определим V^* и $t_{доо}(V^*)$, например, при вероятности ошибки элементарного символа $p_0 = [0,04; 0,49]$, при этом пусть шаг по p_0 равен 0.01 , ограничение на скорости таково $V_4^* \leq V_5^* \leq V_6^* \leq V_7^* \leq V_8^*$ и требование по доведению таково $p|_8(V_4^*, V_5^*, V_6^*, V_7^*, V_8^*) = 0.9$. Найденные результаты графически представлены на рисунках 1–3.

В результате граница по p_0 между МУС с ускорением и торможением скорости есть $p_0 = 0.172$, т.к. при этом $V^* = (1; 1; 1; 1; 1)$.

Обоснование нижней границы применимости МУС. Очевидно, МУС не имеет смысла применять тогда, когда требуемая вероятность доведения уже достигнута за три ФПС. Для определения p_0 , приводящей к требуемой вероятности доведения, необходимо решить следующее нелинейное уравнение. Распишем функцию вероятности доведения за три ФПС от p_0 так:

$$p|_3 = \left(1 - (1 - p|_1)^3\right) + (1 - p|_1)^3 \left(p|_3^{(2/3)h_{1,2,3}}\right) = \left(1 - (1 - (1 - p_0)^1)^3\right) + (1 - (1 - p_0)^1)^3 \left(1 - (p_0^3 + C_3^2 p_0^2 (1 - p_0))\right)^1 ,$$

тогда имеем следующее уравнение относительно p_0 :

$$\left(1 - (1 - (1 - p_0)^1)^3\right) + (1 - (1 - p_0)^1)^3 \cdot \left(1 - (p_0^3 + C_3^2 p_0^2 (1 - p_0))\right)^1 = 0.9.$$

Уравнение решено в среде Mathcad [7], в результате $p_0 = 0.022$.

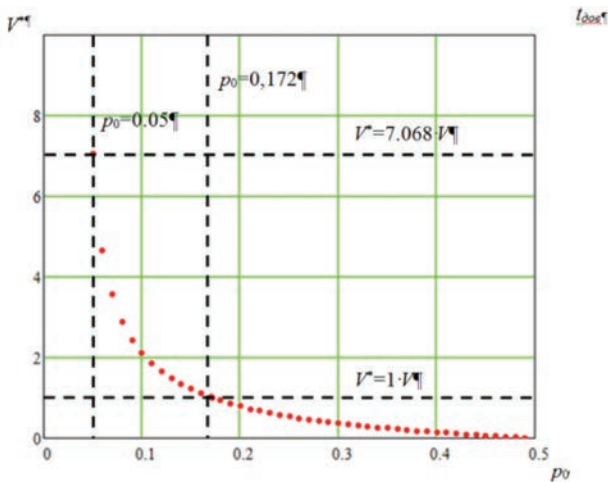


Рис. 1. Зависимость V^* от p_0

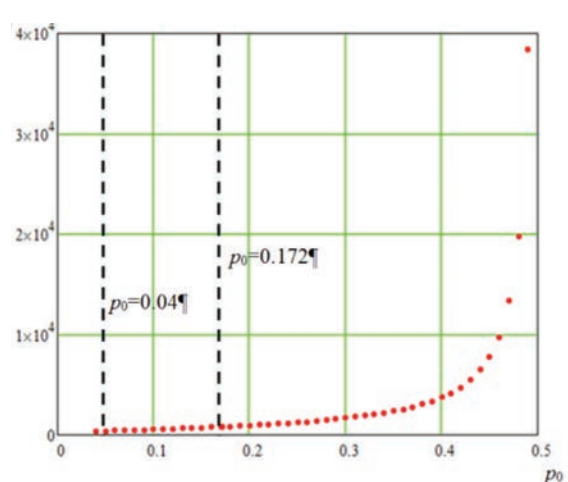


Рис. 2. Зависимость $t_{дов}$ от p_0

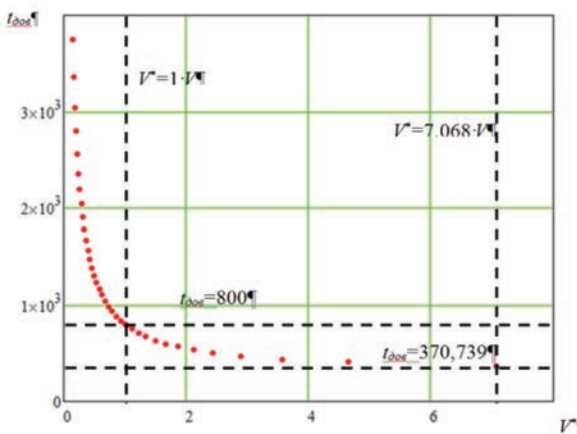


Рис. 3. Зависимость $t_{дов}$ от V^*

Анализ полученных данных: – $p_0 = 0.022$ — является теоретической нижней границей использования МУС, т.к. при $p_0 = 0.022$ вероятность доведения сообщения без МУС уже на третьем ФПС равна $p_3 = 0.9$. Следовательно, требуемая вероятность доведения уже достигнута за три ФПС, а АДМП, на который и «ориентирован» МУС, «включается» лишь после накопления трех ФПС; – $p_0 = 0.172$ является границей между МУС с ускорением и торможением скорости передачи, т.к. при указанной вероятности ошибки элементарного символа в КС получается $V^* = (1; 1; 1; 1; 1)$, следовательно, вмешательство в скорость передачи ФПС не требуется (требуемая вероятность доведения обеспечивается без наличия МУС); – теоретический диапазон применимости МУС с ускорением передачи ФПС таков $p_0 = (0,022; 0,172)$, а, начиная с $p_0 > 0.172$, получаются оптимальные распределения скоростей меньше чем $1V$. Это свидетельствует о том, что необходимо уменьшать скорости передачи 4,5,6,7,8 ФПС для обеспечения требуемой вероятности доведения сообщения, а это и есть МУС с торможением (уменьшая скорость

передачи, увеличивается отношение сигнал/шум на входе приемника АС и уменьшается p_0 , следовательно, увеличивается вероятность доведения сообщения, но «жертвуем» при этом временем доведения сообщения, т.к. скорость передачи падает); – теоретическая граница применимости МУС с торможением передачи ФПС лежит в диапазоне: $p_0 = [0,173; 0,499(9)]$, при обеспечении требуемой вероятности доведения сообщения.

Заключение. Таким образом, предложен подход к снижению времени гарантированного доведения сообщений в соединении «точка-точка» КР на базе МУС передачи повторов сообщений (кадров), учитывающего вклад в достоверность доведения, формируемого при мажоритарной обработке накапливаемых повторов сообщений в ЛП АС сети. Подход определяет порядок получения оптимальных распределений скоростей ФПС, удовлетворяющих совокупности допущений, ограничений и требований, предъявляемых к рассматриваемому процессу. Задача отыскания распределения скоростей является оптимизационной и решена с использованием критерия оптимальности. Обоснованы теоретические границы применимости МУС с ускорением и торможением передачи в зависимости от вероятности ошибки элементарного символа в КС. Представлены подходы к анализу данных, полученных в результате решения оптимизационной задачи. Исключительную важность имеет характер допущений, ограничений и требований на решаемую оптимизационную задачу, т.к. от них зависит порядок ее решения. Таким образом, представлен подход к синтезу скоростных параметров МУС в командной радиосети.

Список литературы

1. Сердюков П. Н., Бельчиков А. В., Дронов А. Е., Григорьев А. С., Волков С. С. Защищенные радиосистемы цифровой передачи информации. М.: АСТ, 2006. 403с.
2. Цимбал В. А., Попов М. Ю., Винокуров А. М., Попов В. Ю. Методика схемотехнического синтеза схем устройств, реализующих различные типы мажоритарных проверок. Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова / Научная сессия, посвященная Дню радио, 2015. Вып. LXX. С. 160–164.
3. Цимбал В. А., Попов М. Ю., Дробышев М. Ю. Математическое моделирование процесса доведения сообщения в радиосети без обратной связи с повторениями и накоплением информации. Информационные технологии в проектировании и производстве. М.: 2010. № 3. С. 78–83.

4. Гридин В. Н., Мазепа Р. Б., Роцин Б. В. Мажоритарное уплотнение и кодирование двоичных сигналов. М.: Наука, 2001. 124 с.
5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. 10-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 576 с.
6. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. М.: наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. 600 с.
7. Куприянов Д. В. Mathcad 14. СПб.: БХВ — Петербург, 2007. 704 с.: ил.
8. Цимбал В. А. Качество информационного обмена в сетях передачи данных. Марковский подход. Монография. М.: Вузовская книга, 2014. 161 с.

THE MECHANISM OF A SPEED CONTROL OF MESSAGE TRANSFER AS THE APPROACH TO DECREASE IN GUARANTEED TIME OF FINISHING IN A UNILATERAL CIRCULAR RADIO NETWORK OF THE NOTIFICATION

Tsimbal Vladimir Anatol'evich, Serpuhov, Russian, tsimbalva@mail.ru

Popov Mikhail Yur'evich, Serpuhov, Russian, vetoiskin@mail.ru

Podlegaev Aleksandr Vyacheslavovich, Serpuhov, Russian, vetoiskin@mail.ru

Abstract

In article the approach to decrease in time of the guaranteed finishing of the message in a unilateral circular network of the notification with repetitions and accumulation of the information on the basis of the mechanism of a speed control of transfer of repetitions of the message considering the contribution to reliability of finishing, formed is presented at majority processing of accumulated repetitions of messages in the logic receiver of user's station of a network.

As a result of research it is established: there is "balance" between values of speeds of transfer of repetitions of the message, time of finishing and probability of finishing of the message in considered system.

It is established, finishings by repetitions and their accumulation in the logic receiver of user's station of a network the algorithm of increase of reliability (defines algorithm of processing by majority checks). The given algorithm forms potential possibilities of a radio path, regarding reliability of the accepted information, realise which the developed mechanism of a speed control of transfer of repetitions of messages in a considered radio network can. The speed control mechanism, by statement and the decision of an optimising problem is developed.

The optimising problem represents the generated system of the equations and inequalities. Into structure of the given system enter: function of probability of finishing of the message taking into account work of the realised algorithm raising reliability from speeds of transfer of repetitions of messages, function is equal to demanded value of probability finishings (requirement); function of time of finishing of the message from speeds of transfer of repetitions of messages, is minimised function; inequalities - logic conditions of definition of arguments (speeds of message transfer) functions (restriction); initial approach of arguments of function. Functions of probability of finishing and finishing time are target. The system is solved by a numerical method, as a result of the decision distributions of speeds of transfer of repetitions of the messages, providing requirements on probability of finishing are received. Theoretical borders of applicability of the mechanism of a speed control depending on probability of an error of an elementary symbol in a communication channel are proved. The estimation of the received results is made. The speed control mechanism can be used in unilateral systems of data transmission with repetitions and accumulation of the information, using noiseproof coding, for decrease in guaranteed time of finishing.

Keywords: command radio network; the mechanism of a speed control of transfer of repetitions of the message; optimization.

References

1. Serdjukov P.N., Bel'chikov A.V., Dronov A.E., Grigor'ev A.S., Volkov S.S. The protected radio systems of digital transmission of information Moscow, AST, 2006. 403p.
2. Tsimbal V.A., Popov M.Ju., Vinokurov A.M., Popov V.Ju. Method of circuit synthesis devices realizing the different types of majority checks. Works of the Russian scientific and technical society of radio engineering, electronics and communication named A.S. Popov / The scientific session devoted to Day of radio, No. LXX. 2015, pp. 160-164. (in Russian)
3. Tsimbal V.A., Popov M.Ju., Drobyshev M.Ju. Mathematical modeling of finishing process of the message in a radio network without feedback with repetitions and information accumulation. Information technologies in design and production. No 3. 2010. Pp. 78–83. (in Russian)
4. Gridin V.N., Mazepa R.B., Roshhin B.V. Majoritarian seal and coding of binary signals. Moscow, Nauka, 2001. 124 p.
5. Ventcel' E.S. Probability theory. 10th edition. 10-e izd., ster. M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2005. 576 p.
6. Bahvalov N.S., Zhidkov N.P., Kobel'kov G.M. Numerical methods. Moscow, nauka. Gl. red.fiz.-mat. lit., 1987. 600 p.
7. Kuprijanov D.V. Mathcad 14. SPb.: BHV – Peterburg, 2007. 704 p.: il.
8. Tsimbal V.A. Quality of information exchange in data transmission networks. Markovsky approach. Monograph. Moscow, Vuzovskaja kniga, 2014. 161 p.

Information about authors:

Tsimbal V.A., Ph.D., the professor, the professor of chair of the automated control systems of military academy.

Popov M.Yu., Ph.D., doctoral student of military academy.

Podlegaev A.V. the senior teacher of chair of the automated control systems of military academy.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖИВУЧИХ БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ИХ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ДЕГРАДАЦИИ

Захаров Иван Вячеславович,

к.т.н., доцент, докторант Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, vka@ya.ru, X.vano-z80@yandex.ru

Забузов Вячеслав Сергеевич,

к.т.н., старший преподаватель кафедры информационно-вычислительных систем и сетей Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. Санкт-Петербург, Россия, vka@ya.ru, Teskatlitpoka@yandex.ru

Соколовский Алексей Николаевич,

к.т.н., старший преподаватель кафедры информационно-вычислительных систем и сетей Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского г. Санкт-Петербург, Россия, vka@ya.ru, Sokolovskij2007@yandex.ru

Эсаулов Константин Андреевич,

к.т.н., старший преподаватель кафедры информационно-вычислительных систем и сетей Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, vka@ya.ru, Home5263@yandex.ru

Аннотация

В настоящее время особую актуальность приобретают вопросы, связанные с обеспечением устойчивости функционирования бортовых вычислительных систем (БВС) космических аппаратов (КА). Современные технологии, связанные с развитием электронной компонентной базы и коммуникационных стандартов, создают предпосылки по совершенствованию архитектуры БВС. Однако традиционные методы анализа и синтеза БВС КА, функционирующих в условиях внешних воздействий, не позволяют в полной мере реализовывать данные преимущества. Перспективным направлением решения указанной проблемы представляется построение живучих БВС, обладающих свойством постепенной деградации с сохранением работоспособности по мере увеличения тяжести последствий отказов с учетом возникающих ограничений. Однако существующий научно-методический аппарат теории живучести вычислительных систем имеет ряд существенных ограничений. Предлагаемая модель учитывает реконфигурацию БВС с учетом выполняемых задач, ресурсоемкости вычислительных процессов и режимов работы элементов, и позволяет оценивать живучесть с позиций качества выполнения целевых задач, применительно к стохастическому множеству отказов, в динамике функционирования системы. Элементами структуры БВС являются процессоры, запоминающие устройства и каналы обмена. Конфигурация БВС определяет физические режимы и расходование ресурса элементов, схемы резервирования и распределение вычислительных задач. Задачи характеризуются директивным сроком выполнения, объемом вычислений, требуемым объемом памяти. Параметры задач определяют ограничения по суммарному быстродействию, пропускной способности и объему памяти элементов. Показатель живучести БВС определяется отношением математического ожидания показателя качества решения множества целевых задач в произвольный момент времени к его значению в момент начала функционирования. Обоснована модель потока отказов элементов вычислительной системы при различных режимах нагрузки элементов и различных условиях внешней среды, базирующаяся на физическом принципе надежности и учете влияния температурного режима на надежность полупроводниковой элементной базы. Реализация предложенного подхода дает возможность получать более содержательные количественные и качественные оценки живучести БВС КА, выявлять критичные компоненты вычислительных структур и создавать базу для построения методов повышения и обеспечения их живучести.

Ключевые слова: бортовая вычислительная система; живучесть; деградация; реконфигурация; надежность; вычислительная система.

Эффективное решение широкого спектра задач сегодня немыслимо без использования космических средств, а внедрение новых наукоемких технологий в области освоения космоса обеспечивает значительный прогресс во многих аспектах деятельности человечества. Интеграция орбитальных средств наблюдения, связи, навигации и специальных видов обслуживания с наземными комплексами открывает широкие возможности создания принципиально новых систем дистанционного зондирования Земли и мониторинга космического пространства, систем связи и управления, космических систем военного назначения. Вместе с тем особую актуальность приобретают вопросы, связанные с обеспечением устойчивости функционирования бортовых вычислительных систем (БВС) космических аппаратов (КА) при повышении сложности решаемых задач [1]. В то же время современный этап развития бортовой вычислительной техники космического применения характеризуется следующими особенностями:

– современные БВС способны решать целевые задачи, но не имеют существенного резерва производительности, позволяющего выполнить их при неоднократных отказах в БВС, либо дополнительные задачи, связанные с парированием отказов в других бортовых системах;

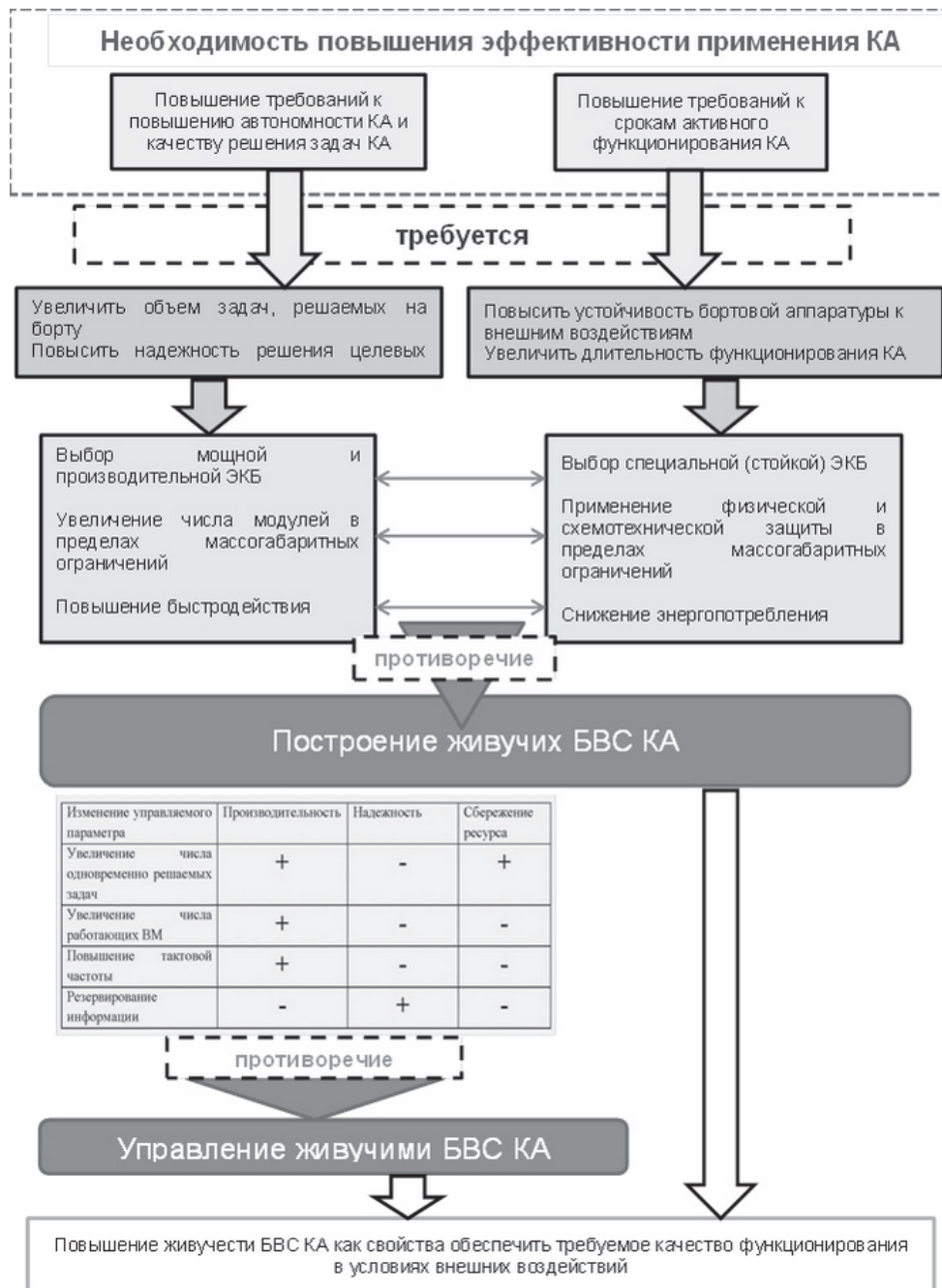


Рис. 1. Проблема повышения живучести БВС КА

- имеющиеся на борту вычислительные возможности используются неэффективно вследствие жестких функциональных связей в структурах многоканальных БВС и бортовых комплексов управления КА;
- для ряда функциональных узлов БВС разработчики вынуждены применять электронную компонентную базу (ЭКБ) иностранного производства, не соответствующую условиям применения, что затрудняет обеспечение надежности и живучести;
- отказы и сбои БВС и их программного обеспечения остаются одной из основных причин срывов целевых задач и отказов КА в целом — как вследствие уязвимости ЭКБ, так и центрального места БВС в структуре бортового комплекса управления [2].

При этом следует отметить, что современные технологии, связанные с развитием электронной компонентной базы и коммуникационных стандартов, создают предпосылки к совершенствованию архитектуры БВС. Кроме того, современная элементная база позволяет осуществлять гибкое управление режимами работы с учетом производительности, энергоемкости, температурного режима и других условий. Однако традиционные методы анализа и синтеза БВС КА, функционирующих в условиях внешних воздействий, не позволяют в полной мере реализовывать указанные преимущества. Перспективным направлением решения указанной проблемы представляется построение ВС, обладающих свойством живучести (рис. 1).

Живучесть как внутреннее свойство системы, которым она обладает независимо от возникающих в данный момент времени условий функционирования, следует рассматривать в двух основных аспектах. Во-первых, она проявляется как при штатных условиях функционирования, когда возникают отказы элементов в силу их ненадежности, так и при неблагоприятных воздействиях, не предусмотренных условиями эксплуатации и трудно прогнозируемых с точки зрения частоты возникновения, так и их последствий. Во-вторых, живучесть проявляется в том, что система в работоспособном состоянии сохраняет не все функции, которые она должна выполнять в исправном состоянии, а наиболее критичные функции, причем с возможным понижением качества их выполнения. Иначе говоря, живучая система обладает свойством постепенной деградации по мере увеличения тяжести последствий отказов с учетом возникающих ограничений [3].

Соответственно, основные функции системы и характеристики свойства живучести должны определяться применительно к любым последствиям неблагоприятных воздействий, влияющих на выполнение задания: потери работоспособности элементов и связей между ними, ухудшение целевых характеристик элементов (например, производительности, точности, пропускной способности), перераспределения нагрузок, искажения алгоритмов функционирования, уменьшения структурной избыточности, ухудшения безотказности элементов и т. д. В результате модель сложной системы для оценивания ее живучести представляет собой совокупность весьма большого числа частных моделей, использующих для описания процессов как детерминированные, так и вероятностные методы [4].

Смысл, вкладываемый в термин «живучесть», и, соответственно, смысл показателей живучести можно проиллюстрировать следующим образом. Живучесть как комплексное свойство включает прежде всего надежность, стойкость и отказоустойчивость, понимаемую в данном контексте как способность к постепенной, а не катастрофической, деградации при отказах. Отсюда вырожденными случаями живучести выступают стойкость при идеальной надежности и отсутствии отказоустойчивости, надежность при бинарной функции работоспособности и отсутствии неблагоприятных воздействий, и устойчивость к отказам безотносительно их природы. Также иллюстрацией могут послужить качественные графики на рисунке 2, где ось абсцисс соответствует времени и (или) уровню воздействия, ось ординат — целевому показателю качества функционирования системы.

Для исследования живучести БВС могут использоваться различные логико-вероятностные, графовые, теоретико-игровые, матричные модели, а также количественные показатели живучести в зависимости от содержания и цели функционирования системы: оценки функциональной и структурной живучести, минимаксные и аддитивные показатели, показатели на основе энтропии состояний и т. д. [5]. Однако можно отметить следующие недостатки существующего научно-методического аппарата теории живучести вычислительных систем (ВС).

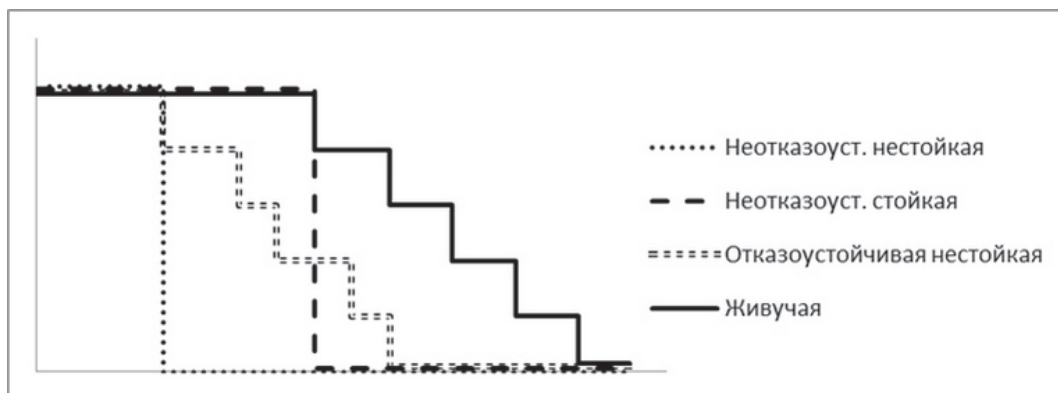


Рис. 2. Качественная иллюстрация свойства живучести системы

1. Модели ВС отражают лишь один из аспектов функционирования: надежность в штатных условиях эксплуатации, стойкость и защиту компонентов от внешних воздействий либо деградацию характеристик перестраиваемых систем.

2. Модели живучести, учитывающие стойкость и разную надежность элементов, являются статическими, а динамические подменяют учет характеристик внешних воздействий и стойкости элементов кратностью отказов.

3. Модели деградации ВС отражают, как правило, ее структурный или функциональный аспект, в то время как для анализа качества функционирования с позиций целевого назначения необходимы модели параметрической деградации системы и ее компонентов.

Тем не менее, представляется целесообразным использовать идеи, заложенные в известных подходах к анализу живучести ВС (таблица 1).

Таблица 1 Некоторые существующие подходы к оценке живучести ВС

Существующие подходы	Существенное ограничение	Преимущество
Логико-вероятностные методы оценки живучести (Г.Н. Черкесов, И.А. Рябинин и др.)	Двоичная функция работоспособности ВС	Возможность оценки вероятности решения вычислительной задачи
Структурная устойчивость сложных объектов	Критерием работоспособности ВС выступает связность графа	Построение траекторий деградации системы
Структурная живучесть, сетевые модели живучести		Графовые модели структуры ВС
Модель «коллектива вычислителей» (В.Г. Хорошевский)	Однородность ВС	Модель деградации производительности ВС, модель «простейшего вычислителя»
Функциональная живучесть [6]	Двоичное качество выполнения функции	Оценка работоспособности ВС с точки зрения выполнения функций
«Мгновенная эффективность» [7], метод динамики средних [8]	Грубая оценка качества функционирования по математическому ожиданию определяющего параметра	Оценка параметров функционирования ВС как случайных величин

Анализ данных подходов показал, что построение моделей функционирования живучих БВС как частного случая многоуровневых иерархических систем возможно посредством учета их следующих особенностей.

1. Универсальность характеристик элементов БВС различных уровней иерархии: быстродействие вычислений, объем памяти, пропускная способность канала рассматриваются как отражение основных способностей БВС — обработки, хранения и передачи данных.

2. Процесс деградации БВС рассматривается на временном интервале применения по назначению, от одного неблагоприятного события к другому.

3. Живучесть как свойство обеспечивать решение целевых задач зависит от комплекса решаемых задач на заданном интервале функционирования и определяет эффективность (вероятность) их выполнения.

4. Живучесть как свойство функционировать в условиях неблагоприятных воздействий зависит от сценариев воздействий с учетом разнородности элементов системы.

5. Конфигурация БВС на определенном интервале функционирования определяет: физические режимы и расходование ресурса элементов; схемы резервирования; распределение вычислительных задач.

Представим модель живучей БВС в виде

$$M = \langle S, U, \Omega, \Phi_w, \Phi_G, \Phi_L, K \rangle \quad (1)$$

Элементами структуры БВС S являются процессоры, запоминающие устройства и каналы обмена, а связи заданы в виде матрицы смежности. Состояния элементов описываются вектором текущих значений параметров: быстродействия, доступного объема памяти, пропускной способности, потребляемой электрической мощности, интенсивности перемежающихся отказов. Уровни иерархического объединения компонентов описываются в виде множеств и матриц смежности компонентов соответствующего уровня иерархии.

Конфигурация БВС U определяет множество схем резервирования, режимы работы элементов и матрицу распределения задач.

Задано множество задач Ω , решаемых БВС, каждая из которых характеризуется директивным сроком выполнения, множеством необходимых для ее решения элементов структуры и следующими параметрами: объем вычислений, требуемый объем памяти, объем данных для обмена с памятью, объем данных для передачи внешним абонентам.

Определены правила формирования схемы решения и оценки качества решения некоторой задачи ω соответственно:

$$\Phi_G : (S, U, \omega) \rightarrow G_\omega; \Phi_L : (G_\omega, \omega) \rightarrow L_\omega \quad (2)$$

Обобщенная модель отказов в БВС

$$\Phi_W : S \times U \times W \rightarrow S, \quad (3)$$

где W — модель надежности и стойкости элементов БВС с учетом внешних воздействующих факторов.

Параметры задач определяют ограничения по суммарному быстродействию, пропускной способности и объему памяти элементов.

Будем считать, что определен некоторый скалярный показатель K качества функционирования БВС, определяемый вероятностями успешного решения целевых задач из множества Ω , а живучесть БВС охарактеризуем отношением математического ожидания показателя K в произвольный момент времени к его значению в момент начала функционирования:

$$\varphi : \bar{p}(\Omega) = \langle p_{\omega_1}, \dots, p_{\omega_n} \rangle \rightarrow K; \quad \Psi(t) = M[K(S(t), U(t))] / K(S_0, U_0) \quad (4)$$

Общая схема моделирования функционирования живучей БВС представлена на рис. 3.

Для моделирования БВС, функционирующей при различных электрических режимах нагрузки элементов и различных условиях внешней среды, обоснована, в частности, модель потока отказов, базирующаяся на физическом принципе надежности Седякина [9] и известных подходах к учету влияния температурного режима на надежность полупроводниковой элементной базы на основе уравнения Аррениуса [10]. Получено, что эквивалентную наработку элемента целесообразно оценивать с учетом интервалов его работы в различных режимах как

$$t_{\Sigma} = \left(\sum_{i=0}^{i=t_i=t} K_y(t_i) \cdot (t_{i+1}^{\alpha} - t_i^{\alpha}) \right)^{1/\alpha} \quad (5)$$

где α проводить формализацию возможных структур БВС различной топологии; t_i — моменты переключения режимов. При этом коэффициент режима (на примере микропроцессора) рассчитывается из соотношения

$$K_y = \frac{f}{f_{ном}} e^{\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_{окр} + RP} - \frac{1}{T_{ном}} \right)} \quad (6)$$

где $f, f_{ном}$ — текущая и номинальная тактовая частота соответственно; $T_{ном}$ — номинальная рабочая температура; E_a — энергия активации деградационного процесса, $T_{окр}$ — температура внутри блока аппаратуры, R — тепловое сопротивление элемента; P — потребляемая электрическая мощность, k — постоянная Больцмана.



Рис. 3. Схема моделирования функционирования живучей БВС

Потребляемая электрическая мощность элемента может быть рассчитана из выражения

$$P = CU_n^2 f, \quad (7)$$

где C — электрическая емкость элемента, U_n — напряжение питания.

Тогда интенсивность отказов элемента определяется как

$$\mu(t) = \alpha \left(\frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)}{\Theta} \right)^\alpha K_y \cdot t_3^{\alpha-1}, \quad (8)$$

где Θ — средняя наработка элемента на отказ; Γ — гамма-функция.

Таким образом, представленная модель учитывает реконфигурацию БВС с учетом выполняемых задач, ресурсоемкости вычислительных процессов и режимов работы элементов, и позволяет оценивать живучесть с позиций качества выполнения целевых задач, применительно к стохастическому множеству отказов, в динамике функционирования системы. В целом предлагаемый подход к моделированию функционирования БВС на основе учета их структурно-параметрической деградации при отказах элементов позволяет:

- проводить формализацию возможных структур БВС различной топологии;
- масштабировать ВС на любое число уровней иерархии;
- описывать отражение структурной деградации нижних уровней на функциональную деградацию верхних уровней иерархии;
- агрегировать свойства надежности, стойкости и структурно-функциональной избыточности;
- варьировать потоки задач и отказов в ходе анализа БВС.

Реализация предложенного подхода дает возможность получать более содержательные количественные и качественные оценки живучести БВС КА, выявлять критичные компоненты вычислительных структур и создавать базу для построения методов повышения и обеспечения их живучести.

Список литературы

1. *Захаров И.В., Кремез Г.В.* Построение бортовых вычислительных систем с учетом результатов испытаний элементной базы в условиях космического пространства // Научное обозрение. Саратов: ООО «Буква», 2014. Вып. 2. С. 176–179.
2. *Басыров А.Г., Гончаренко В.А., Забузов В.С., Кремез Г.В., Эсаулов К.А.* Предложения по повышению устойчивости функционирования бортовых вычислительных систем малых космических аппаратов с учетом космических экспериментов // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. № 4. С. 70–74.
3. *Черкесов Г.Н.* Методы и модели оценки живучести сложных систем. М.: Знание, 1987. 32 с.
4. *Аверьянов А.В., Барановский А.М., Эсаулов К.А.* Определение пределов аппаратной избыточности информационных управляющих систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. № 3. С. 23–26.
5. *Басыров А.Г., Захаров И.В.* Оценка живучести бортовых вычислительных систем космических аппаратов // Труды ВКА им. А.Ф. Можайского. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. № 651. С. 136–145.
6. *Додонов А.Г., Ландэ Д.В.* Живучесть информационных систем. К.: Наук.думка, 2011. 256 с.
7. *Финкельштейн М.С.* Надежность и живучесть радиоэлектронных систем. Л.: ЦНИИ «Румб», 1990. 124 с.
8. *Сушков Ю.А.* Моделирование систем. Л.: ЛГУ, 1982. 112 с.
9. *Себякин Н.М.* Об одном физическом принципе теории надежности // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1966. № 3. С. 80–87.
10. *Иевлев В.И., Филиппов Г.А.* Качество и надежность электронной компонентной базы ЭВМ специального назначения. Екатеринбург: УрФУ, 2013. 102 с.

THE MODELING OF SURVIVAL ONBOARD COMPUTING SYSTEMS OPERATING TAKING INTO ACCOUNT STRUCTURAL-PARAMETRIC DEGRADATION

Zakharov Ivan Vycheslavovich,

St. Petersburg, Russian, X.vano-z80@yandex.ru

Zabuzov Vycheslav Sergeevich,

St. Petersburg, Russian, Teskatlitpoka@yandex.ru

Sokolovskij Aleksej Nikolaevich,

St. Petersburg, Russian, Sokolovskij2007@yandex.ru

Esaulov Konstantin Andreevich,

St. Petersburg, Russian, Home5263@yandex.ru

Abstract

At the present time, the issues related, related to ensuring the sustainability of on-board calculating systems of spacecraft. Modern technologies associated with the development of electronic components and communication standards, create conditions for improving the architecture of onboard calculating systems. However, conventional methods of analysis and synthesis onboard calculating systems of spacecraft operating under external influences, do not allow to fully realize these advantages. Perspective direction of solving this problem is the construction of survival onboard calculating systems have the property of retaining the progressive degradation of performance with increasing severity of the failure consequences to respond to emerging constraints. However, the existing scientific-methodological apparatus of the theory of computer systems survivability has some significant limitations. The proposed model takes into account the reconfiguration of onboard calculating systems based on the tasks, resource-computing processes and modes of operation elements, and allows to evaluate the survivability with quality of achieving the targets, as applied to the stochastic set of failures, in the system dynamics. The elements of the structure of the onboard calculating system are processors, storage devices and communication channels. The configuration of the onboard calculating system determines the physical modes and expenditure of resource of elements, the redundancy scheme and distribution of computing tasks. Tasks are characterized by policy-implementation period, the volume of calculations and volume of required memory. Task parameters define limits on the total speed, bandwidth and memory capacity elements. Survivability index of onboard calculating system is determined by the ratio of the expected value of index quality solutions set of targets at any point in time to its value at the start of the exploitation. Substantiates the failure rate model elements of a calculating system under different load conditions of elements and different environmental conditions, based on the physical principle of reliability and accounting effect of temperature on the reliability of the semiconductor components. Implementing the proposed approach makes it possible to obtain more meaningful quantitative and qualitative assessment of the survivability of onboard calculating systems of spacecraft, to identify critical components of computational structures and create a base for the construction of methods to increase and ensure their survivability.

Keywords: onboard computer system; survivability; degradation; reconfiguration; reliability; computer system.

Information about authors:

Zakharov I.V., Ph.D., assistant professor, doctoral student of Military Space Academy;

Zabuzov V.S., Ph.D., senior lecturer, Military Space Academy;

Sokolovskij A.N., Ph.D., senior lecturer, Military Space Academy;

Esaulov K.A., Ph.D., senior lecturer, Military Space Academy.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕДУР ОБРАБОТКИ ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Нестеренко Олег Евгеньевич,

*адъюнкт кафедры АСУ, ВКА имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия, benaffee@gmail.com*

Гончаров Алексей Михайлович,

*к.т.н., доцент кафедры АСУ, ВКА имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Коченов Николай Валерьевич,

*к.т.н., доцент кафедры АСУ, ВКА имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Ледянкин Иван Александрович,

*к.т.н., старший преподаватель кафедры АСУ, ВКА имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация

Определены основные особенности функционирования автоматизированных рабочих мест, комплексов средств автоматизации и вычислительных комплексов, осуществляющих обработку оперативной информации в автоматизированных системах специального назначения.

Показана структура вычислительного комплекса, основанная на схеме организации с резервированием, а также рассмотрен порядок получения и обработки запросов от комплексов средств автоматизации и автоматизированных рабочих мест.

В качестве основных факторов, определяющих качество обработки информации выбраны искажения исходных данных, поступающих от КСА и АРМ, а также искажения, связанные с комплексом программ обработки и средствами ВК АС СН.

Показана зависимость для определения вероятности искажения данных обработки оперативной информации вычислительным комплексом автоматизированной системы специального назначения.

Для оценивания влияния факторов связанных с искажениями в комплексе программ обработки выбран уровень ошибок, заложенных в отдельных программах специального программного обеспечения, который можно рассматривать как интегрально по их общим внешним проявлениям.

Ключевые слова: автоматизированная система специального назначения; вычислительный комплекс, обработка информации; специальное программное обеспечение; комплекс средств автоматизации.

Введение

В процессе обработки оперативной информации автоматизированной системой специального назначения (АС СН), поступающей с комплексов средств автоматизации (КСА) и автоматизированных рабочих мест (АРМ), можно выделить определенные фазы. Они связаны как с необходимостью обеспечения высокого уровня устойчивости в условиях нанесения противником ударов высокоточным оружием как по средствам самих КСА, АРМ и компонентам сети обмена информацией распределенного вычислительного комплекса (ВК), так и с организацией эффективного вычислительного процесса.

Основная часть

Для обеспечения высокого уровня устойчивости процессов обработки оперативной информации каждое средство АС СН должно иметь подключение по крайней мере к двум модулям ВК. При этом процедуры предусматривают распределение модулей ВК между КСА и АРМ по схеме один основной — другой резервный (в горячем резерве).

Запросы на обработку информации могут поступать от различных «активных» компонентов АС СН в случайные моменты времени. В каждом i -м модуле распределенного ВК имеется k каналов, по которым поступает оперативная информация с целью ее обработки i -м модулем ВК и выдачи обработанной информации получателю результатов обработки (КСА или АРМ) [1].

Факторы, определяющие искажения исходных данных, поступающих от КСА и АРМ, а также искажения, связанные с комплексом программ обработки и средствами ВК АС СН, определяются рядом этапов передачи, хранения, кодирования и преобразования информации. На каждом этапе данные первичного источника (КСА и АРМ) могут подвергаться искажениям, характеристики которых необходимо учитывать при анализе процессов обработки оперативной информации[2].

Поэтому одним из параметров процессов обработки оперативной информации является достоверность информации на всех этапах ее обработки и хранения, которую можно оценить вероятностью искажения данных обработки, которая может быть оценена как

$$P_{isc}^{obr} = P_{isc}^{vv} P_{isc}^{obr} (1 - P_{isc}^z) \quad (1)$$

где P_{isc}^{vv} , P_{isc}^{obr} , P_{isc}^z — вероятности соответственно искажения исходной информации при вводе ее или задании численных значений данным оператором КСА или АРМ, при обработке средствами модулей ВК, при превышении искажений уровня, который исправляется средствами защиты и контроля.

Следует заметить, что основным фактором являются искажения, вносимые оператором КСА или АРМ, и в первом приближении можно считать, что $P_{isc}^{obr} \approx P_{isc}^{vv}$. Для современных средств ввода и развитых интерфейсах эта вероятность составляет $P_{isc}^{obr} \approx 10^{-5} - 10^{-3}$ [2].

Ко второму немаловажному фактору, влияющему на процессы обработки оперативной информации, можно отнести степень полноты обработанной информации, которая характеризует в большей степени характеристики специального программного обеспечения модулей ВК АС СН и определяет степень использования данных исходной информации, которая учитывается при организации, процессов обработки оперативной информации. Фактически характеристики полноты определяют качество специального программного обеспечения, т.к. очерчивают границы автоматизации процессов обработки информации.

Поэтому такие характеристики процессов обработки оперативной информации, определяемые некоторой функцией q_{pr} , которая должна зависеть от показателей полноты Π , характеризующих число n_{uz} вычислительных операций и их долю по отношению к общему необходимому числу операций N^{TP} , можно получить, вычислив величину относительного числа предоставляемых операций, показывающую степень охвата средствами ВК множества требуемых операций по обработке оперативной информации, т.е.

$$q_{pr} = \sum_{z=1}^{n_1} b_z \frac{n_{uz}}{N_z^{TP}} \quad (2)$$

Важной характеристикой процессов обработки оперативной информации является уровень ошибок, заложенных в отдельных программах специального программного обеспечения ВК АС СН, который можно рассматривать как интегрально по их общим внешним проявлениям, связанным с искажениями вычислительного процесса или переменных, так и дифференциально с учетом видов аномалий в программах и причин, приводящих к их появлению. При этом в работе, только при рассмотрении этого вопроса, будем предполагать идеальную надежность и живучесть ВК АС СН и правильность исходных данных[3].

Интегральный подход с позиции внешних проявлений ошибок позволяет получить общие характеристики изменения ошибок и прогнозировать их влияние на надежность и живучесть функционирования программ в составе СПО ВК. При этом более детальный анализ причин ошибок позволяет планировать мероприятия по их обнаружению и устранению с целью обеспечения заданных надежности и живучести функционирования комплексов программ СПО ВК.

Для получения правильных и надежных программ, как правило, применяется N-вариантное программирование, для чего используют программную избыточность, заключающуюся в $N \geq 2$ независимо разработанных программ при одинаковых исходных данных и описаниях задачи, которые должны полностью формализовать функцию программы, форматы исходных и результирующих данных, точки сравнения и допускаемые отклонения результатов вариантов программ. При этом априорно предполагается, что исходное описание задачи, на котором строятся все N вариантов, является корректным, полным и однозначным.

Оценка характеристик ошибок, а тем самым и надежности функционирования комплексов программ СПО ВК АС СН, предполагает проведение ряда экспериментальных исследований, при которых проводится анализ характеристик выявленных ошибок. При этом данные о количестве ошибок в комплексе программ можно получить только косвенными оценками и экстраполяцией на основе количества обнаруженных и устраненных ошибок. При этом можно предложить следующие характеристики для примера двух (А и Б) комплексов программ [4]:

- абсолютное количество обнаруженных и устраненных в каждом комплексе программ ошибок за единицу времени;
- количество устраненных ошибок на одну команду в комплексе программ;

— количество ошибок, обнаруживаемых и устраняемых одним оператором ВК в единицу времени.

Анализ количества устраненных ошибок на одну команду в каждой программе СПО ВК позволяет сопоставить характеристики обнаруженных ошибок в комплексах программ разного объема, в том числе при модернизации и развитии АС СН. Данные об ошибках, нормированные с учетом объема R подключенных программ могут быть аппроксимированы функцией вида[5]:

$$\frac{dn}{d\tau_k/R} = Ke^{-K\tau_k} \quad (3)$$

где $\frac{dn}{d\tau_k/R}$ — количество выявленных ошибок на одну команду в единицу времени;

τ_k — время тестирования программ и СПО ВК в целом.

Заключение

Таким образом, основными факторами, определяющими качество обработки оперативной информации являются искажения исходных данных и искажения, связанные с комплексом программ обработки и определяются рядом этапов передачи, хранения, кодирования и преобразования информации.

Для количественного оценивания влияния данных факторов на процесс обработки информации в ВК АС СН необходимо использовать вероятность искажения данных обработки оперативной информации и уровень ошибок, заложенных в отдельных программах специального программного обеспечения.

Список литературы

1. Буренин А. Н., Легков К. Е. Современные инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления. М. Изд-во Медиа Паблишер, 2015. 348 с.
2. Васильев В. А., Легков К. Е., Левко И. В. Системы реального времени и области их применения // Информация и космос. 2016. № 3. С. 68–70.
3. Легков К. Е., Буренин А. Н. Организация оперативного управления инфокоммуникационными сетями специального назначения в условиях интенсивных воздействий // Электросвязь. 2015. № 7. С. 29–33.
4. Ледянкин И. А., Легков К. Е. О некоторых концептуальных вопросах разработки параллельных структур вычислительных задач кластерных вычислительных систем // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2014. Т. 6. № 6. С. 30–38.
5. Легков К. Е. К вопросу организации управляющей информационной сети автоматизированных систем управления инфокоммуникационными системами и сетями специального назначения // Информация и космос. 2015. № 2. С. 12–15.

THE RATIONALE FOR THE SELECTION OF CHARACTERISTICS AND PARAMETERS PROCESSING OF OPERATIONAL INFORMATION IN AUTOMATED SYSTEMS SPECIAL PURPOSE

Nesterenko Oleg Evgenevich,
Saint-Petersburg, Russia, benaffee@gmail.com

Goncharov Alexey Mikhailovich,
Saint-Petersburg, Russia

Kochenov Nikolay Valerievich,
Saint-Petersburg, Russia

Ledyankin Ivan Aleksandrovich,
Saint-Petersburg, Russia

Abstract

The article defines the main peculiarities of functioning of the automated jobs, systems automation and computer systems involved in the processing of operational information in automated systems for special purposes.

Shows the structure of the computing complex based on the structure of the organization with redundancy and the procedure for receiving and processing requests from the automation systems and workstations.

The main factors determining the quality of information processing is selected the distortion of the original data coming from the automated jobs and systems automation and distortions associated with complex treatment programs and computer systems. The dependence for determining the likelihood of distortion data handling of operational information computing complex of automated system of special purpose.

For estimation of influence of factors associated with distortion in the complex treatment programs of the selected level of error inherent in the individual programs special software, which can be considered as integrated in their overall appearances.

Keywords: automated system of special purpose computer system; information processing; special software; complex automation equipment.

References

1. Burenin A. N., Legkov K. E. Modern infocommunication systems and networks for special purposes. Bases of construction and management. M. Ed in Media publisher, 2015. 348 p
2. Vasiliev V. A., Legkov K. E., Levko I. V. Of real-time Systems and their applications. Information and space. 2016. No. 3. Pp. 68–70.
3. Legkov K. E., Burenin A. N. The organization of operational management of ICT networks in heavy impacts. Elektrosvyaz. 2015. No. 7. Pp. 29–33.
4. Ledengin I. A., Legkov K. E. On some conceptual issues of development of parallel structures computing tasks cluster computing systems. H&ES Research. 2014. Vol. 6. No. 6. Pp. 30–38.
3. Legkov K. E. organization of the management information networks of automated control systems for the infocommunication systems and networks. Information and space. 2015. No. 2. Pp. 12–15.

Information about authors:

Nesterenko O.E., postgraduate student, Mozhaisky Military Space Academy;
Goncharov A.M., Ph.D., Associate Professor, Mozhaisky Military Space Academy;
Kochenov N.V., Ph.D., Associate Professor, Mozhaisky Military Space Academy;
Ledyankin I.A., Ph.D., lecturer, Mozhaisky Military Space Academy.

ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ НА УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВАХ В ИНТЕРЕСАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЛС ДАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ

Логовский Алексей Станиславович,

к.ф.-м.н., главный конструктор ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л.Минца»,
г. Москва, Россия, logovsky@rti-mints.ru

Харевин Денис Александрович,

начальник отдела ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л.Минца»,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация

В условиях необходимости качественного обучения специалистов вопросам эксплуатации РЛС дальнего обнаружения целесообразно максимально применять методы автоматизированного обучения. По результатам создания и испытаний радиолокационных станций дальнего обнаружения в ОАО РТИ была разработана и внедрена концепция тренировок специалистов, которая может стать основой для организации автоматизированного обучения в военных учебных заведениях. Предлагаемая концепция определяет структуру учебно-методических материалов, а также состав и структуру необходимых учебно-тренировочных средств.

Ключевые слова: учебно-тренировочные средства (УТС); радиолокационная станция (РЛС); автоматизированное обучение.

Введение

Непрерывное развитие и повышение сложности современных радиоэлектронных средств (РЛС дальнего обнаружения) предъявляет повышенные требования к качеству подготовки эксплуатирующих специалистов. От специалистов требуется понимание принципов функционирования, знание структуры и правил эксплуатации РЛС дальнего обнаружения. Возникает потребность в повышении квалификации специалистов и средствах объективного контроля уровня подготовки.

Одной из самых распространённых и эффективных считается подготовка с применением методов классической системы обучения.

Классическая система обучения, лишь формально разделяющая формы и процесс обучения на лекционные, практические и лабораторные занятия. В сочетании с принятым в русской высшей школе синтетическим методом преподавания, классическая система образования позволяет выращивать действительно высококлассных специалистов с широким кругозором и глубокими знаниями.

Основное достоинство классической системы обучения — возможность живого общения обучаемых со специалистами высочайшего класса, как правило, сочетающими преподавание с интенсивной научной и инженерной работой. Благодаря живому общению с лекторами и ассистентами обучаемые получают необходимые сведения, и могут сразу же с помощью опытного наставника найти ответы на интересующие их вопросы, что позволяет реализовать в процессе обучения подлинную обратную связь между обучаемыми и преподавателями. Под влиянием последних достижений науки и благодаря наличию живой обратной связи с аудиторией опытный лектор постоянно обновляет содержание лекционного курса и наполнение практических и лабораторных занятий (при этом он отчасти учитывает потребности аудитории и уровень ее подготовленности).

Следует, впрочем, понимать, что классическая система может работать с высокой отдачей только при наличии преподавателей достаточно высокого класса, имеющих время и возможность работы с обучаемыми, обладающими энцикло-

педическими знаниями в выбранной предметной области, как правило, ведущих собственные научные исследования, способных мобильно откликаться на новейшие достижения и отражать их результаты в лекционном курсе и других дидактических материалах.

Недостатки классической системы обучения:

1. Высокая степень трудозатрат и как следствие высокая стоимость обучения.
2. Громоздкость и малоподвижность системы в целом, неспособность к быстрым кардинальным изменениям структуры и наполнения используемых дидактических материалов.
3. Слишком очевидная субъективность оценки уровня подготовленности обучаемых и грубость реально используемой шкалы оценок.

Ввиду перечисленных недостатков классическая система обучения не может быть реализована при обучении специалистов на территориально удаленных стационарных и перебазированных РЛС.

Исследования методологии подготовки специалистов на работающих ныне РЛС, основанных по большей части на классической системе обучения и методах самостоятельного обучения, приводят к пониманию необходимости принятия незамедлительных мер по повышению уровня и сокращению сроков подготовки.

Размещенные в труднодоступных местах РЛС дальнего обнаружения должны быть оснащены средствами автоматизированного обучения и повышения квалификации специалистов – учебно-тренировочным комплексом (УТК). Применение современного автоматизированного УТК нивелирует недостатки классического обучения и позволяет [6]:

1. В 2–3 раза сократить сроки подготовки.
2. Получить количественную оценку уровня подготовки.
3. Сократить трудозатраты на обучение, за счет снижения «педагогической» нагрузки на опытных квалифицированных специалистов-наставников.
4. Снизить аварийность¹ систем и устройств РЛС, повысить безопасность их применения и надежность функционирования.

Функциональные возможности УТК РЛС

Учебно-тренировочный комплекс предназначен для подготовки, повышения квалификации, отработки слаженности и поддержания уровня постоянной боеготовности боевых расчетов РЛС дальнего обнаружения.

Автоматизированные средства УТК с размещенным на них соответствующим учебно-методическим комплектом должны обеспечивать проведение курсов подготовки следующих специалистов:

- боевой расчет командно-оперативного пункта: командир дежурных сил (КДС); старший помощник командира дежурных сил (СП КДС); дежурный инженер (ДИ);
- начальники отделов отдельного радиотехнического узла (ОРТУ): начальник отдела передающих и приемных АФУ; начальник отдела аппаратуры командного пункта, вычислительного комплекса, системы передачи данных и систем единого времени; начальник энерго-механического отдела.

УТК должен обеспечивать возможность проведения автоматизированного обучения личного состава ОРТУ. Обучение должно осуществляться с применением функционального подхода. Сущностью функционального подхода является проведение специализированной подготовки обучаемых или групп обучаемых в зависимости от своих функциональных обязанностей. Для подготовки специалистов должны быть разработаны специализированные курсы обучения, изучение которых позволит им четко выполнять должностные обязанности по эксплуатации и поддержанию постоянной боевой готовности ОРТУ.

Структура и состав УТК РЛС

Структура УТК:

- комплект аппаратуры;
- комплект программного обеспечения;
- комплект учебно-методических материалов и эксплуатационной документации;
- дополнительные средства обучения.

Состав определяется исходя из задач, поставленных перед УТК. Выделено три варианта комплектации УТК:

- комплектация ОРТУ — УТК для подготовки, отработки слаженности и постоянному поддержанию боеготовности боевого расчета конкретного ОРТУ;
- комплектация ОЭК — УТК для подготовки специалистов в рамках проведения эксплуатационных практик офицеров войсковых частей, эксплуатирующих РЛС ВЗГ на базе опытно-эксплуатационных комплексов (ОЭК) промышленности. На базе ОЭК так же может проводиться обучение сотрудников эксплуатационных отделов;
- комплектация ВУЗ — УТК для подготовки командного и технического персонала РЛС ВЗГ на базе специализированных кафедр военных академий. комплектацией УУТК РЛС ВЗГ.

¹Снижение аварийности достигается повышением уровня подготовки личного состава войсковой части, эксплуатирующей РЛС дальнего обнаружения.

Рассмотрим состав каждого варианта комплектации УУТК:

1. Комплектация ОРТУ

Комплект аппаратуры:

- 6 рабочих мест обучаемых (РМО) с штатными ВС конкретного ОРТУ;
- 1 рабочее место педагога-инструктора (РМИ) с штатными ВС конкретного ОРТУ;
- штатные ВС для размещения программного обеспечения УУТК;
- штатные ВС для размещения КИМС;
- средства коллективного отображения информации;
- принтер.

Комплект программного обеспечения:

- общесистемное программное обеспечение (ОСПО) — заимствуется из состава конкретного ОРТУ;
- ФПО отображения и диалога — заимствуется из состава конкретного ОРТУ;
- комплекс имитационных средств (КИМС) — заимствуется из состава конкретного ОРТУ;
- ФПО учебно-тренировочного комплекса.

Комплект учебно-методических материалов и эксплуатационной документации:

- учебно-методические, справочные и контрольные материалы конкретного ОРТУ;
- комплект эксплуатационной документации конкретного ОРТУ.

План размещения УТК в БВМ ОРТУ приведен в приложении Б.

2. Комплектация ОЭК

Комплект аппаратуры:

- 6–12 РМО на промышленных ВС;
- 1 РМИ на промышленных ВС;
- промышленные или штатные ВС для размещения программного обеспечения УУТК;
- штатные и промышленные ВС для размещения КИМС;
- средства коллективного отображения информации;
- принтер.

Комплект программного обеспечения:

- ОСПО промышленное или заимствованное из состава ОРТУ;
- ФПО отображения и диалога — заимствуется из состава ОРТУ;
- комплекс имитационных средств (КИМС) — заимствуется из состава ОРТУ;
- ФПО учебно-тренировочного комплекса.

Комплект учебно-методических материалов и эксплуатационной документации:

- учебно-методические, справочные и контрольные материалы набора ОРТУ;
- комплект эксплуатационной документации конкретного набора ОРТУ.

3. Комплектация ВУЗ.

Комплект аппаратуры:

- РМО на промышленных ВС. Количество РМО определяется исходя из потребностей кафедр ВУЗа;
- 1 РМИ на промышленных ВС;
- промышленные ВС для размещения программного обеспечения УУТК;
- промышленные и/или штатные ВС для размещения КИМС;
- расширенный набор средств коллективного отображения информации;
- принтер.

Комплект программного обеспечения:

- промышленное ОСПО, пригодное для установки программного обеспечения ОРТУ;
- ФПО отображения и диалога — заимствуется из состава ОРТУ;
- комплекс имитационных средств (КИМС) — заимствуется из состава ОРТУ;
- ФПО учебно-тренировочного комплекса.

Комплект учебно-методических материалов и эксплуатационной документации:

- учебно-методические, справочные и контрольные материалы ВУЗа;
- комплект эксплуатационной документации конкретного набора ОРТУ.

В результате проведенной классификации выделено три варианта комплектации УУТК:

Основная нагрузка при разработке инструментария УТК ложиться на функциональное программное обеспечение (ФПО) учебно-тренировочного комплекса.

Функциональное программное обеспечение УТК

ФПО УТК должно разрабатываться на основе клиент-серверной технологии[7] и соответствовать требованиям:

- модульность построения;

- максимальная функциональная инкапсуляция;
- единый пользовательский интерфейс для всего процесса обучения вне зависимости от типа контента (теоретический, практический или контрольный);
- применение шаблонного построения.

В ФПО УТК реализованы следующие функциональные возможности [2]:

- формирование специализированных дисциплин и курсов обучения;
- обеспечение проведения и контроль результатов обучения по специализированным курсам:
 - проведение теоретического обучения;
 - предоставление расшифровки и описания специализированных аббревиатур и терминов, применяемых в обучающих материалах (гlossарий);
 - возможность просмотра эксплуатационной документации изделия;
 - контроля уровня усвоения знаний основанного на современных моделях теории педагогических измерений [3], в том числе применение технологии адаптивного тестового контроля [4];
 - проведение практического обучения и тренировок в объеме, предусмотренном учебно-методическим комплексом (УМК);
 - проведение контрольных мероприятий по оценке практических навыков работы, полученных в УТК в результате практического обучения и тренировок;
 - построение рейтинга успеваемости учащихся на основе нормативно-ориентированной оценки;
 - генерация индивидуальных и групповых отчетов о результатах контрольных мероприятий пройденных в курсах обучения;
- обеспечение повторения изученных материалов, проведение теоретического и практического обучения с применением адаптивных технологий и тестирования на основе гетерогенных тестов;
 - разграничение прав доступа пользователей к информационным ресурсам и функциональным возможностям ФПО УТК на основе гибридной модели, основанной на ролевой, групповой и мандатной моделях доступа;
 - добавление и редактирование учётных записей пользователей с возможностью указания роли(ей) и принадлежности к группе(ам);
 - добавление и редактирование и удаление учебных и контрольных материалов в/из базы данных ФПО УТК;
 - добавление и редактирование терминов и аббревиатур в/из гlossария;
 - добавление комментариев к обучающим и контрольным материалам;
 - импортирование и экспортирование обучающих материалов и курсов;
 - сохранение информации о действиях пользователей: вход и выход; запрос обучающих материалов; добавление и редактирование обучающих материалов; добавление и редактирование учетных записей пользователей.
 - добавление официальной эксплуатационной документации изделия;
 - добавление и редактирование рабочей версии эксплуатационной документации с учетом схемы деления и структуры изделия. Структурная схема ПО УТК приведена на рис. 1.

Для каждого пользователя (субъекта) системы определить правила доступа к информационным и функциональным ресурсам системы. Управление доступом к ресурсам системы должно быть основано на гибридной модели, включающей положения ролевой, групповой и мандатной моделей. Для удобства управления процессом специализированной подготовки должна быть реализована возможность объединения пользователей в группы. Группе пользователей могут назначаться курсы обучения, необходимые для получения необходимых знаний, навыков и умений (компетенций).

Для определения ролевой составляющей [10] (англ. RoleBasedAccessControl, RBAC) модели обеспечения доступа используются следующие соглашения:

- S = субъект (англ. subject) — пользователь;
- R = роль (англ. role) — рабочая функция или название, которое определяется на уровне авторизации (множество ролей);
- P = разрешения (англ. permissions) — разрешение доступа к объекту (ресурсу или функционалу) системы;
- SE = сессия (англ. session) — соответствие между S, R и/или P;
- SA = назначение субъекта (англ. subjectassignment);
- PA:R → 2^P — функция, определяющая для каждой роли множество прав доступа; при этом для каждого p ∈ P существует r ∈ R такая, что p ∈ PA(r); (англ. permissionassignment);
 - один субъект может иметь несколько ролей;
 - одну роль могут иметь несколько субъектов.

При записи в нотации теории множеств:

- PA ⊆ P × R, при этом разрешения и роли находятся в отношении «многие ко многим».
- SA ⊆ S × R, при этом субъекты и роли находятся в отношении «многие ко многим».

В ФПО учебно-тренировочного комплекса определены следующие роли (R):

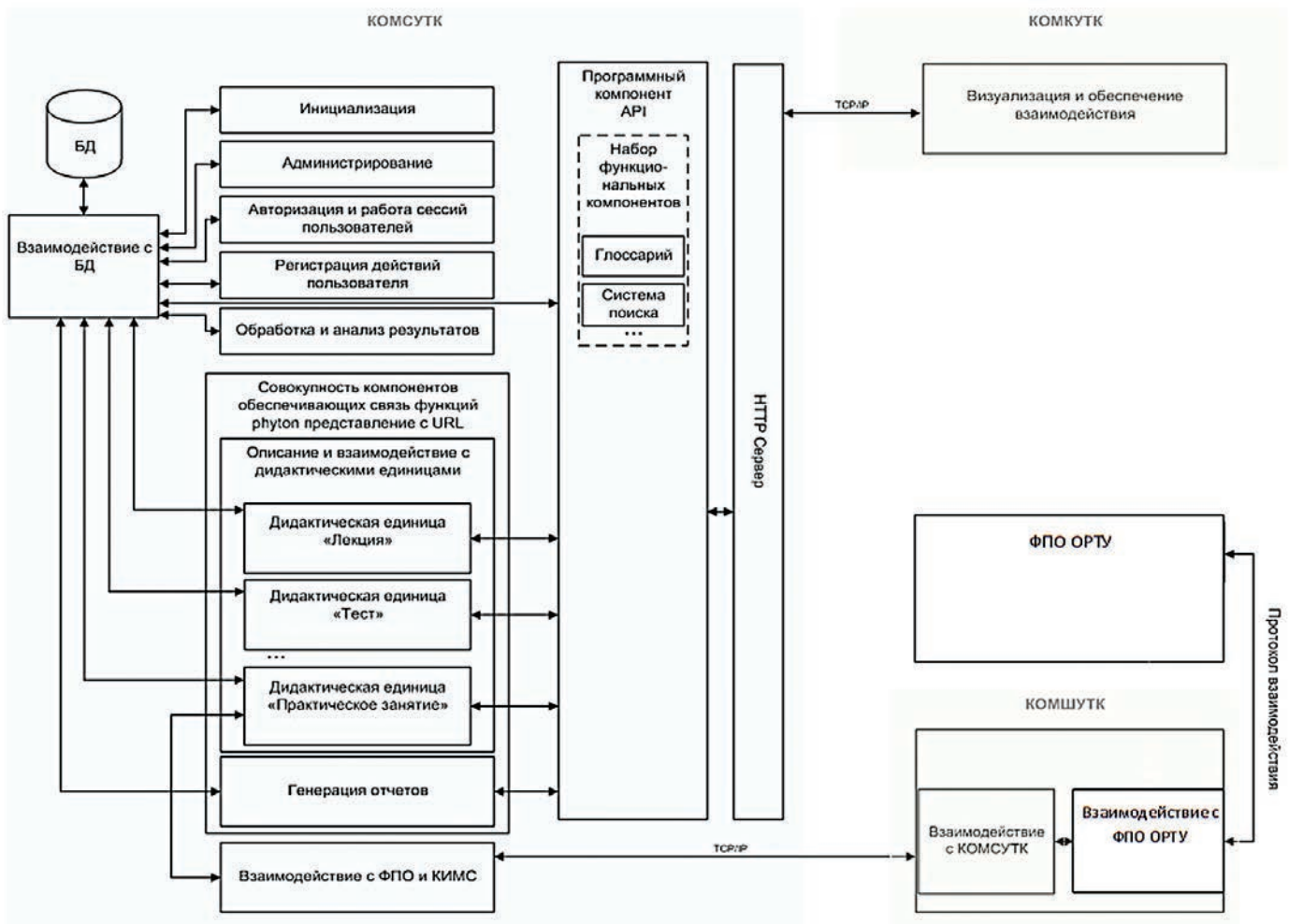


Рис. 1. Структурная схема ФПО УТК

1) R_o – «Обучаемый» – роль пользователя (субъекта) системы автоматизированной подготовки специалистов, в задачи которого входит изучение курсов обучения в целях приобретения знаний, умений и навыков, необходимых для выполнения должностных обязанностей специалиста конкретной области[5].

2) $R_{ин}$ – «Педагог-инструктор» – роль пользователя (субъекта) системы автоматизированной подготовки специалистов, в задачи которого входит контроль за процессом обучения «обучаемых». Шаблон роли «педагог-инструктор» с описанием прав доступа к ресурсам и функциональным возможностям представлен на рис. 2.

3) $R_{ред}$ – «Редактор» – роль субъекта составителя курсов обучения и/или лица уполномоченного вносить изменения в содержание курса и других информационных материалов базы данных УТК. Целевое назначение курсов обучения.

4) R_a – «Администратор» – управляющий учетными записями пользователей любого типа.

5) $R_{рук}$ – «Руководитель» – пользователь осуществляющий контроль за процессом обучения. В процесс обучения вовлечены пользователи – «обучаемые» и «педагоги-инструкторы». Руководитель так же имеет возможность контролировать процессы работы с курсами обучения, прочими информационными материалами, и манипуляции с учетными записями пользователей.

Пользователь (субъект) системы может обладать одной или несколькими ролями одновременно. Например: пользователь может совмещать роли $R_{ин}$ и $R_{ред}$.

Назначение ролей контролирует пользователь обладающий ролью R_a .

Как уже упоминалось, при необходимости, одному субъекту системы могут быть назначены все имеющиеся роли системы.

В целях обеспечения гибкости и удобства управления процессом разграничения доступа субъектов к объектам системы к реализации ролевой модели добавлены группы (рис. 2):

- G = совокупность субъектов (англ. group) — группа пользователей;
- один субъект может входить в несколько групп;

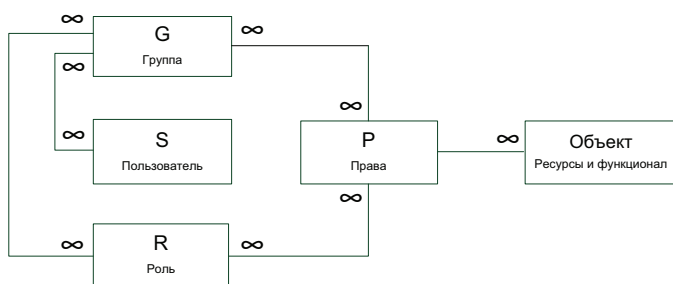


Рис. 2. Схема отношений объединенной групповой и ролевой модели УТК

– одна группа может включать несколько субъектов.
 Для групп определены следующие отношения:
 – $GA \subseteq G \times S$, при этом группы и субъекты находятся в отношении «многие ко многим».

Пользователи объединяются в группы по должностному признаку. Группе пользователей назначаются курсы обучения, необходимые для получения требуемого уровня знаний, навыков и умений (компетенций), соответствующие должностным обязанностям обучаемого специалиста.

В ФПО УТК реализована возможность размещения обучающих и контрольных материалов. Обучающие и контрольные материалы должны представляться в ФПО УТК в виде отдельных дидактических элементов.

Виды дидактических элементов[8]:

«Лекция» — набор текстовых, графических и прочих информационных материалов, необходимых для проведения теоретической подготовки обучаемых.

«Демонстрация» — набор слайдов для проведения занятий с группой обучаемых;

«Тестовое задание» — текст задания и набор вариантов ответов, один или несколько из которых являются верными, остальные — дистракторами;

«Тест» — интерактивный элемент, содержащий набор тестовых заданий по определённой тематике, предназначенный для оценки уровня усвоения материалов обучения)[9];

«Практическое занятие» — интерактивный элемент, содержащий набор материалов и программных компонентов, необходимых для проведения практической тренажной подготовки обучаемых[1];

«Практический контроль» — интерактивный элемент, содержащий набор материалов и программных компонентов, необходимых для оценки уровня практической подготовки обучаемых.

Для удобства работы с большим количеством тестовых заданий реализована возможность их группирования в наборы.

Пользовательский интерфейс ФПО УТК строится на основе базового шаблона страницы, приведенного на рис. 3. Однако для каждой роли разработаны индивидуальные настройки и разработка специализированных частей программного

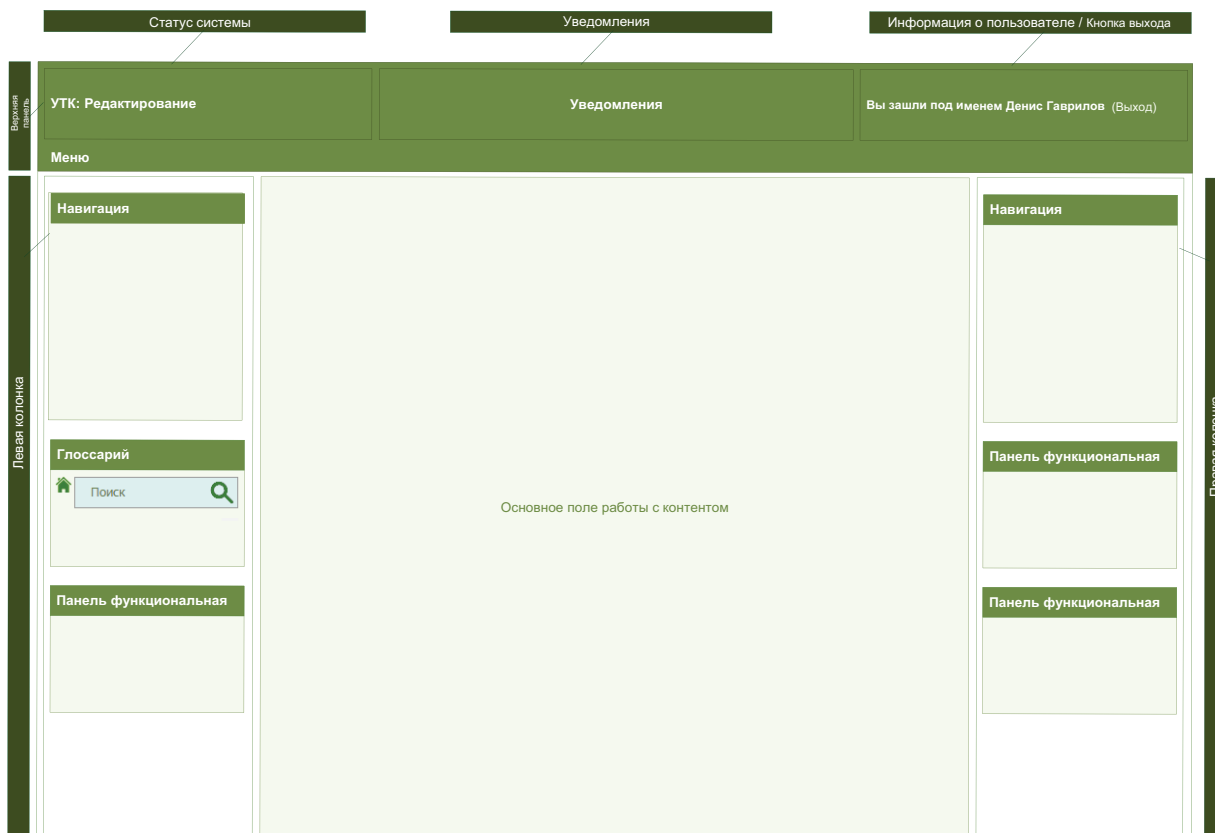


Рис. 3. Базовый шаблон пользовательского интерфейса ФПО УТК

интерфейса, учитывающие права доступа к информационным и функциональным ресурсам. Описание прав ролей приведено в табл. 2.

Таблица 3. Таблица описания прав ролей в ФПО УТК

Дидактические элементы	Обучаемый	Педагог-инструктор	Редактор	Руководитель
Обучение				
Лекция	Просмотр	Просмотр	Редактирование	Просмотр
Демонстрация	Просмотр	Просмотр (чтение лекции), проведение занятий с применением средств коллективного отображения информации	Редактирование	Просмотр
Практическое занятие	Прохождение	Запуск и управление процессом проведения практических занятий.	Редактирование	Просмотр описания
Контроль				
Тест	Прохождение. Просмотр результатов пройденных тестов	Просмотр результатов тестирования. Индивидуальный отчёт по обучаемому. Групповой отчёт по группе обучаемых.	Редактирование теста. Просмотр результатов тестирования	Просмотр отчетов по результатам тестирования. Индивидуальный отчёт; Групповой отчёт.
Тестовые задания	Выполнение в составе теста	Просмотр параметров тестового задания.	Редактирование тестового задания. Просмотр характеристик тестового задания.	Просмотр характеристик наборов тестовых заданий.
Практический контроль	Прохождение: — индивидуальное; — в составе боевого расчета. Просмотр результатов прохождения.	Запуск, управление, контроль прохождения обучаемыми практического контроля. Просмотр результатов — индивидуальных; — по слаженности.	Редактирование. Просмотр результатов прохождения практического контроля	Просмотр результатов практического контроля. Отчёты: — по обучаемым; — по дисциплинам.

В ФПО УТК реализован функционал формирования курсов обучения из введенных ранее обучающих и контрольных материалов. Курс состоит из набора дисциплин. Требуется предусмотреть два варианта представления структуры дисциплины обучения:

- в виде ориентированного графа для пользователя имеющего роль «Педагог-инструктор»;
- в виде дерева для пользователя имеющего роль «Обучаемый».

Основным является представление дисциплины в виде ориентированного графа, узлами которого являются дидактические элементы или объединительные узлы, а при помощи рёбер определяется последовательность изучения материалов дисциплины курса обучения.

Древовидное представление статической дисциплины строится автоматически из имеющегося ориентированного графа учебной дисциплины с последовательно следующими дидактическими элементами. Корень дерева — наименование дисциплины обучения. Узлы — наименование тем и подтем обучения. Листья — дидактические элементы.

Закключение

Результаты анализа применения различных подходов к обучению специалистов, эксплуатирующих РЛС дальнего обнаружения, подтверждают эффективность применения автоматизированных средств обучения на базе УТК.

Применение УТК для подготовки специалистов эксплуатирующих РЛС позволяет:

- существенно (в 2–3 раза) сократить сроки подготовки специалистов;
- осуществлять подготовку специалистов для эксплуатации различных РЛС;
- снизить аварийность РЛС, повысить безопасность применения и надежность функционирования.

Имеющиеся функциональные возможности УТК теоретического и практического обучения и объективного контроля уровня усвоения знания и навыков, в совокупности с непрерывным их расширением, позволяют говорить о его применимости в подготовке специалистов в военных учебных заведениях.

Список литературы

1. Скотников А., Погребняк Р. Пути тренажерной подготовки войск // Военный парад.— Апрель 2007.
2. Логовский А. С., Якубовский С. В., Богомаз Д. В., Харебин Д. А. Особенности построения и применения учебно-тренировочных комплексов радиоэлектронных изделий высокой заводской готовности // Сборник материалов II всероссийской научно-технической конференции РТИ Системы ВКО-2014. М. Изд-во: Радиотехника. 2014. С. 326–336.
3. Чельщикова М. Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов, М.: Логос. 2002. 432 с.
4. Качалов Д. В. Монография. «Концепция формирования педагогической культуры у студентов ВУЗа — будущих учителей в инновационной образовательной среде». Изд-во «Академия естествознания», 2011. URL: <http://www.rae.ru/monographs/125>.
5. Харебин Д. А. Автоматизированная система расширения границ потенциалов, обмена опытом и повышения квалификации специалистов высокотехнологичных отраслей // Лучшие инженерно-технические кадры России. Сборник статей победителей национальной научно-технической конференции. www.nntk2011.ru, 2011. С. 19–23.
6. Харебин Д. А. Автоматизированная система дистанционного образования как инструмент повышения квалификации специалистов высокотехнологичных сфер // Фундаментальные и прикладные проблемы современной техники. Сборник работ лауреатов конкурса молодых ученых имени академика И. И. Воровича (14 выпуск). Ростов-на-Дону: Изд-во Северокавказского научного центра высшей школы ЮФУ. 2011. С. 111–122.
7. Башмаков А. И., Башмаков И. А. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. М.: Информационно-издательский дом «Филинъ». 2003. 616 С.
8. Приказ МО РФ № 670 от 15 сентября 2014 г. «О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».
9. Айсмонтас Б. Б. Педагогическая психология: Схемы и тесты. М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2002. 208 с.
10. Павлов А. Ролевая модель доступа. Инвентаризация прав доступа // Сайт аналитического центра Anti-Malware.ru. URL: <http://www.anti-malware.ru/node/13626>.

THE ORGANIZATION OF THE AUTOMATED TRAINING ON EDUCATIONAL AND TRAINING MEANS IN INTERESTS OF OPERATION RLS OF DISTANT DETECTION

Logovsky Alexey Stanislavovich,
Moscow, Russia, logovsky@rti-mints.ru

Harebin Denis Aleksandrovich,
Rostov-on-Don, Russia

Abstract

In terms of the need of qualitative training of specialists in the operation of long-range radar expedient as possible to apply methods of automated learning. According to the results of building and testing of radar stations of distant detection in RTI was developed and implemented the concept of training of specialists, which can become the basis for automated training in military educational institutions. The proposed concept defines the structure of teaching materials, as well as the composition and structure of the necessary training equipment.

Keywords: training aids; radiolocation station; automated training.

References

1. Scotnikov A., Pogrebnyak R. Ways of training preparation of armies. Military parade. April 2007. (In Russian)
2. Logovskiy A.S., Yakubovsky S.V., Bogomaz D.V., Harebin D.A. Features of construction and application of educational and training complexes of radio-electronic products of high factory readiness. Collection of materials II of the RTI All-Russia scientific and technical conference of System BKO-2014. M. publishing house: Radio engineering. 2014. pp. 326-336. (In Russian)
3. Chelyshkova M. B. Theory and practice of designing of pedagogical tests, M.: Logos. 2002. P. 432. (In Russian)
4. Kachalov D.V. Monograph. «The concept of formation of pedagogical culture at students of HIGHER EDUCATION INSTITUTION - future teachers in the innovative educational environment». Publishing house «Natural sciences academy», 2011. URL: <http://www.rae.ru/monographs/125>. (In Russian)
5. Harebin D.A. The automated system of borders expansion of potentialities, exchange of experience and professional development of experts of high-technology industries. The best technical shots of Russia. Collection of winners articles of national scientific and technical conference. www.nntk2011.ru, M. 2011. pp. 19-23. (In Russian)
6. Harebin D.A. The automated system of remote education as tools of professional development of experts of hi-tech spheres. Fundamental and applied problems of modern equipment. Collection of winners works of competition of young scientists of a name of the academician I.I. Vorovich. Rostov-on-Don: publishing house North Caucasian scientific center of the higher school of YuFU. 2011. pp. 111-122. (In Russian)
7. Bashmakov A.I., Bashmakov I. A. Development of computer textbooks and training systems. M.: Information publishing house «Filin'», 2003. P. 616. (In Russian)
8. The order MO Russian Federation No. 670 from September 15, 2014. «About measures for implementation of separate provisions of article 81 of the Federal law from December 29, 2012 of No. 273-FZ «About education in the Russian Federation». (In Russian)
9. Aysmontas B.B. Pedagogical psychology: Schemes and tests. M.: publishing house VLADOS-PRESS, 2002. P. 208. (In Russian)
10. Pavlov A. Role model of access. Inventory of access rights. Site of the analytical center Anti-Malware.ru. URL: <http://www.anti-malware.ru/node/13626>. (In Russian)

Information about authors:

Logovsky A.S., candidate of the physicist and technical science, chief designer Radio engineering institute name of academician A.L.Mints» Moscow, Russia, logovsky@rti-mints.ru;

Harebin D.A., head of department Radio engineering institute of a name of academician A.L.Mints. Rostov-on-Don, Russia.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО И ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОЦЕНКИ И КОНТРОЛЯ НАДЕЖНОСТИ (ВКОИKN) ПИЛОТИРУЕМЫХ КОРАБЛЕЙ, МНОГОРАЗОВЫХ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ДЛИТЕЛЬНЫМИ СРОКАМИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Куреев Виктор Дмитриевич,

д.т.н., профессор, заместитель начальника комплекса системных исследований и научно-методического обеспечения испытаний и эксплуатации ракетно-космической техники Научно-исследовательского института космических систем имени А.А.Максимова, г. Королёв, Московской области, Россия, kureev@niiks.com

Кузьмич Антон Антонович,

начальник отдела комплекса системных исследований и научно-методического обеспечения испытаний и эксплуатации ракетно-космической техники Научно-исследовательского института космических систем имени А.А.Максимова

Медушевский Люциан Станиславович,

д.т.н., профессор, главный научный сотрудник комплекса системных исследований и научно-методического обеспечения испытаний и эксплуатации ракетно-космической техники Научно-исследовательского института космических систем имени А.А.Максимова

Соколов Юрий Александрович,

к.т.н., главный научный сотрудник комплекса системных исследований и научно-методического обеспечения испытаний и эксплуатации ракетно-космической техники Научно-исследовательского института космических систем имени А.А.Максимова, yuriys1939@rambler.ru

Аннотация

Определено место вычислительных комплексов оценки и контроля надежности в процессе создания и структуре системы эксплуатации изделий ракетно-космической техники (РКТ), выделены факторы и векторы развития информационного и программно-алгоритмического обеспечения для решения задач управления рисками на стадиях жизненного цикла изделий перспективной РКТ.

Введена классификация статистических и вероятностных задач, составляющих инструментарий новой методологии системы обеспечения надежности ракетно-космической промышленности, выделено ядро базовых статистических задач. На основе определения стандартной статистической задачи и анализа потенциальных источников искажения возможных результатов оценивания, задача выбора метода решения для каждой базовой задачи формулируется как проблема наилучшего оценивания с учетом требований к точности статистики (ε -критерий), адекватности модели (α -критерий), и правильности алгоритма (ω -критерий). Дана постановка рационального распределения задач управления риском между наземными и бортовыми вычислительными средствами пилотируемых кораблей, многоразовых ракет космического назначения и космических аппаратов длительного функционирования.

Ключевые слова: автоматизированная система информации; источники риска; модели риска; задачи управления риском; эксплуатация по состоянию; оперативный контроль и управление функционированием.

40 лет назад, при зарождении теории создания специального математического обеспечения управления [1], были сформулированы и обоснованы основные свойства, которыми должно обладать информационное и программно-алгоритмическое обеспечение вычислительных комплексов автоматизированных систем управления. Среди общих указаны требования обоснованности, сочетания творческого и формализованных подходов, материализации опыта управления, способности к развитию, работы в реальном масштабе времени. Частными названы следующие требования: реализуемость, эффективный диалог, адаптивность, совместимость, надежность.

В эти же годы проходило формирование методологии системы обеспечения надежности ракетно-космической промышленности [2]. В предисловии к цитируемой монографии констатируется, что теория создания сложных технических систем не является в настоящее время (1977 год) строгой и законченной. В частности, задачи оптимизации эффективности и надежности можно обоснованно решать лишь при соответствующей формализации таких категорий, как цель, полезность, потери, неопределенность, информация. На основе описания отраслевой системы обеспечения надежности как многоуровневой и многоцелевой системы принятия решений в условиях неопределенности, рассмотрения её организационных основ, ретроспективного анализа развития нового научно-технического направления, показаны существен-

ные ограничения на возможности применения статистического экспериментирования в качестве единственной основы научного метода. В качестве методологии отраслевой системы обеспечения надежности предлагаются аналитические основы статистического и социально-экономического экспериментирования и управления. Таким образом, инструментарий классической теории надежности [3], включающий вероятностные модели и статистические методы обработки результатов эксперимента, с необходимостью дополняется принципами обоснования решений в условиях неопределенности [2] и инструментариумом управления риском. Дисперсионный анализ используется для выявления определяющих факторов риска конструкторских, производственных, эксплуатационных отказов. Социально-экономические модели отрасли призваны учитывать механизмы управления человеческим фактором риска. Возникает проблема анализа управляемости многомерных открытых и целенаправленных систем [4].

В недрах молодой отраслевой науки были поставлены актуальные задачи развития информационных технологий:

- интерактивный комплекс анализа риска;
- информационная среда формирования космических программ;
- технология исследования эффективности функционирования технической системы в среде её проектирования

В процессе их решения получено несколько фундаментальных результатов:

- уточнено одно из понятий теории вероятностей — независимость случайных событий [9],
- найден инвариант неопределенности статистической задачи, от которого напрямую зависит эффективность применения дробной стратегии [5],
- обоснована мера различающей информации, позволяющая находить при реализации гибких стратегий уровень оптимальной информированности, зависящий от разности потерь от рисков первого и второго рода [2].

Реализация новой методологии заставила переосмыслить некоторые философские вопросы теории познания, например, соотношение объективного и intersubъективного, искать разрешение диалектических противоречий развития в сочетании [9]:

- преемственности проектов и новых технических идей;
- широких возможностей универсального и приспособленности специального;
- творческих озарений субъекта и обоснованности выводов экспертного коллектива;
- мощности и наглядности языка диалога с машиной.

Всё это определило место вычислительных комплексов оценки и контроля надежности, как необходимого атрибута накопления знания и обоснования решений в процессе создания и структуре системы эксплуатации изделий ракетно-космической техники. Отраслевая система информации о надежности и техническом состоянии изделий РКТ формирует общее информационное поле для оценки источников риска [10], оценки эффективности тех или иных мер и средств обеспечения надежности, наконец, для проверки результативности самой системы обеспечения надежности [11].

В табл. 1 приведены некоторые результаты космической деятельности, позволяющие оценить изменение рисков до и после внедрения нормативных документов отраслевой системы обеспечения надежности.

Таблица 1. Сравнение рисков активной космической деятельности

Тип опасности	До 1977 г. (1000 пусков РН)		После 1977 г. (2000 пусков РН)	
	Случаев/ возможностей	Вероятность на 1 полет	Случаев/ возможностей	Вероятность на 1 полет
Авария в пилотируемом полете	3/30	0,1	1/70	0,014
Катастрофа в пилотируемом полете	2/30	0,06	0/70	-
Авария на старте	5/1000	0,005	1/2000	0,0005
Катастрофа на старте	2/1000	0,002	0/2000	-
Авария РН в полете	150/1000	0,15	100/2000	0,05
Авария РН с падением вне зон отчуждения	3/1000	0,003	2/2000	0,001

Представительность выборок позволяет с большой достоверностью опровергнуть гипотезу о возможности объяснения случайными обстоятельствами различия частот событий.

Проведем такую проверку на примере сравнения доли отказавших ракет-носителей в 1000 пусков до 31.12.1977 г. (150 отказов) и 2000 пусков после 01.01.1978 (100 отказов).

Сравнение доли признака в двух совокупностях $w_1 = m_1/n_1$, $w_2 = m_2/n_2$.

Оценки вероятностей отказов в схеме Бернулли $\hat{p} = m/n$, $D[\hat{p}] = \hat{p}(1-\hat{p})/n$.

Если гипотеза $H_0: p_1 = p_2$ верна, то разность $w_1 - w_2$ имеет нормальное распределение с параметрами $M(w_1 - w_2) = 0$, $D(w_1 - w_2) = D(w_1) + D(w_2) = \hat{p}(1-\hat{p})(1/n_1 + 1/n_2)$.

Статистика $\psi = (w1-w2) / \sqrt{\hat{p}\hat{p}(1-\hat{p}\hat{p})(1/n1+1/n2)}$ имеет стандартное нормальное распределение $N(0, 1)$, вместо неизвестного p берём $\hat{p} = (m1 + m2) / (n1 + n2)$.

Проверку гипотезы H_0 проводим по схеме $abs(\psi) < t_{кр}$, где $t_{кр} = \text{НОРМОБР}(1-\alpha/2, 0, 1)$, $1-\alpha$ — уровень достоверности (доверия). Для $\alpha/2=10^{-15}$ $t_{кр}$ приблизительно равно 7,9. Наша статистика $\psi=8,944$.

Таким образом, статистика только по ракетам-носителям должна быть признана более чем убедительной.

Анализ тенденций формирования требований к современным и перспективным средствам выведения позволяет определить некоторый предельно допустимый уровень риска отказов в одном полете одноразовых средств выведения для РН основных классов на космодроме «Восточный». На этом этапе внедрения требований надежности и безопасности необходима реализация дополнительных мер для пилотируемых и уникальных проектов. Основным инструментом реализации и обеспечения этих мер является предлагаемая система обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и объектов наземной космической инфраструктуры космодрома.

Её создание и внедрение на космодроме «Восточный» позволит реализовать последующий, наиболее ответственный и трудоемкий этап — внедрение технологии эксплуатации по техническому состоянию, без которого невозможны создание и эксплуатация многоразовых средств выведения.

Рассмотрим особенности используемого инструментария. В табл. 2 приведены результаты классификации задач ВКОИKN. Из всего спектра выберем базовые задачи.

Таблица 2. Классификация задач оценки и контроля надежности

Признак классификации		Значение признака	Обозначение
1	Оцениваемый показатель R	Вероятность безотказной работы	$R_1 = P(t)$
		Средняя наработка до отказа	$R_2 = T_0$
		Гамма — процентная наработка	$R_3 = T_\gamma$
2	Вид оценивания O	Точечное оценивание	$O_1 = R_0$
		Интервальное оценивание	$O_2 = R_\beta$
		Проверка гипотез	$O_3 = \varphi, \varphi \in [0,1]$
		Принятие статистического решения	$O_4 = d, d \in D$
3	Форма регистрации эмпирической информации I	Альтернативная информация	$I_1 = \{\omega\}$
		Значения наработки	$I_2 = \{\omega, t\}$
		Запасы работоспособности	$I_3 = \{\omega, t, z\}$
		Параметры состояния	$I_4 = \{\omega, t, y\}$
4	Модели оценивания G	Оценка параметров распределения	$\tau: \{\omega, t\} \rightarrow \{\theta\}$
		Оценка показателя надежности	$r: \{\theta\} \rightarrow \{R\}$
		Модели свертки: μ	$\mu: \{R_i\} \rightarrow \{R\}$
$G_1 = \tau * r; G_2 = \mu_0 * \tau * r; G_3 = \tau * \mu_0 * r; G_4 = \tau * r * \mu_R; G_5 = \mu_z * \tau * r; G_6 = \mu_y * \tau * r$			
5	Форма представления априорной информации:	Конкретный тип распределения	$\Gamma_1 = P_\theta$
		Экспоненциальное семейство	$\Gamma_2 = E_\theta$
		Непрерывное распределение	$\Gamma_3 = F_\theta$
		Непараметрический случай	$\Gamma_4 = F$
	Г — распределения	Конкретная функция потерь	L_1
		Квадратичная функция потерь	L_2
		Симметричная функция потерь	L_3
	L — потери	Изменены условия применения	A_1
		Изменены технология изготовления	A_2
		Изменены условия и технология	A_3
A — аналоги			
Более 10000 сочетаний значений признаков классификации			

Классические задачи структурной надежности (с элементами know-how):

- несмещенное оценивание (восполнение частично регистрируемых выборок),
- прогнозирование определяющих параметров (с выявлением признаков нестационарности случайного процесса),
- обоснование ускоренных ресурсных испытаний (с контролем сохранения механизмов старения).

Новые задачи:

- прогноз конструкторского риска (критерий завершенности отработки),

- прогноз производственного риска (критерий отработанности технологии),
- прогноз эксплуатационного риска (критерий результативности эксплуатации по состоянию).

К новым задачам отнесены те, для которых нельзя принять гипотезу об устойчивом распределении вероятностей и используются данные по аналогам. Речь идет об использовании байесовского подхода для оценивания информированности лица, принимающего решение. В качестве примера приведем модель прогноза конструкторского риска.

$$P(A_n) = \frac{(1-q)^n \times P(H_1) + 1 - P(H_1)}{(1-q)^{n-1} \times P(H_1) + 1 - P(H_1)} \quad (1)$$

где $P(H_1)$ — априорная вероятность гипотезы о наличии конструкторской ошибки;
 q — вероятность аварии (проявления конструкторского дефекта) в полете;
 $P(A_n)$ — вероятность успешного n -го полета.

$$D[P(A_n)] = (\partial P(A_n) / \partial q)^2 * D[q] + (\partial P(A_n) / \partial P(H_1))^2 * D[P(H_1)] \quad (2)$$

В общем случае производные $\partial P(A_n) / \partial q$ и $\partial P(A_n) / \partial P(H_1)$ имеют вид:

$$\begin{aligned} \partial P(A_n) / \partial q = & P(H_1)(1-q)(n-2) \{ (nq+1)(1-P(H_1)) + \\ & + P(H_1)(1-q)n \} / [1-P(H_1)(1-(1-q)(n-1))]^2; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\partial P(A_n) / \partial P(H_1) = -[(1-q)(n-1) - (1-q)n] / [1-P(H_1)(1-(1-q)(n-1))]^2 \quad (4)$$

$$P_\gamma[A_n] = P(A_n) - u_\gamma * \sigma[P(A_n)] \quad (5)$$

Результаты расчетов по формулам (1)-(5) приведены в табл. 3 и на рисунке ниже.

Таблица 3. Результаты расчетов по формулам (1)-(5).

n	P(H ₁)	p	U _γ =0.8	∂F/∂P(H ₁)	∂F/∂p	P(A _n)	σ[P(A _n)]	P(A _n) _γ
1	0.2	0.4	0.842	0.600	0.200	0.880	0.104	0.792
2	0.2	0.4	0.842	0.310	-0.033	0.945	0.035	0.916
3	0.2	0.4	0.842	0.139	-0.072	0.977	0.033	0.949
4	0.2	0.4	0.842	0.058	-0.054	0.991	0.023	0.971
5	0.2	0.4	0.842	0.024	-0.032	0.996	0.013	0.985
6	0.2	0.4	0.842	0.010	-0.017	0.998	0.007	0.993
7	0.2	0.4	0.842	0.004	-0.008	0.999	0.003	0.997
8	0.2	0.4	0.842	0.002	-0.004	1.000	0.002	0.998
9	0.2	0.4	0.842	0.001	-0.002	1.000	0.001	0.999
10	0.2	0.4	0.842	0.000	-0.001	1.000	0.000	1.000

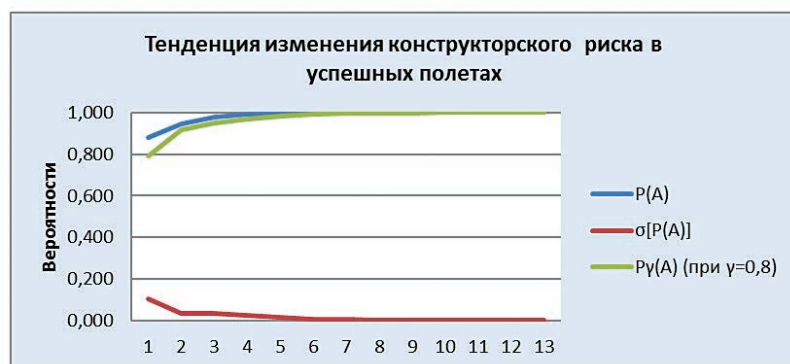


Рис. 1. Графики изменения вероятностей

Распределение решаемых задач между наземными и бортовыми вычислительными средствами пилотируемых кораблей, многоразовых ракет космического назначения и космических аппаратов длительного функционирования проводится по критерию суммарного риска, требований к автономности полета и допустимого времени потери функции бортового оборудования.

Список литературы

1. Гвардейцев М.И., Морозов В.П., Розенберг В.Я. Специальное математическое обеспечение управления М.: Сов.радио, 1978. 512 с.

2. Плетнев И. Л., Рембеза А. И., Соколов Ю. А. и др. Эффективность и надежность сложных систем. М.: Машиностроение, 1977. 216 с.
3. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 541 с.
4. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир, 1977. 311 с.
- Надежность и эффективность в технике. Справочник / Под ред. В. С. Авдеевского и др. М.: Машиностроение, 1986, Т. 1. 224 с.
5. Грибанов В. Ф., Рембеза А. И., Соколов Ю. А. и др. Методы отработки научных и народно-хозяйственных ракетно-космических комплексов. Под общ. ред. В. Ф. Грибанова. М.: Машиностроение, 1995. 352 с.
6. «Машиностроение» Энциклопедия. Редакционный совет: академик К. В. Фролов (пред.) и др. Том IV-3. Надежность машин. Ключев В. В., Болотин В. В., Соколов Ю. А. и др. М.: Машиностроение, 1998. 592 с.
7. Голованев И. Н., Медушевский Л. С., Соколов Ю. А. Влияние уровня надежности на распределение задач и областей применения двигательных систем с ограниченной скоростью истечения реактивной струи и ограниченной мощности в перспективных аэрокосмических транспортных системах. Седьмой Международный аэрокосмический Конгресс. Тезисы докладов. М.: Изд. Хоружевский А. И. 2012. 486 с.
8. Соколов Ю. А. К понятию независимости случайных событий. СПб.: АНО ЛА «Профессионал», 2014. 112 с.
9. «Новые наукоемкие технологии в технике». Энциклопедия. Под общей редакцией канд. юрид. наук Д. В. Панова. Том 35. Комплексные инновационные решения проблем обеспечения качества и безопасности при создании и технологической подготовке производства высоконадежной перспективной ракетно-космической техники. Панов Д. В., Иванов Д. Ю. и др. М.: НИИ «ЭНЦИТЕХ», 2015. 464 с.
10. Макаров Ю. Н., Соколов Ю. А. Инновационная деятельность ракетно-космической отрасли в части решения технологических проблем обеспечения качества, надежности и безопасности перспективных изделий ракетно-космической техники. М.: НИИ «ЭНЦИТЕХ», 2015. 411 с.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF INFORMATION AND PROGRAM ALGORITHMIC DATA PROCESSING RELIABILITY EVALUATION AND MONITORING SPACESHIPS, ROCKETS REUSEABLE OUTER PURPOSE AND SPACECRAFT WITH LONG PERIODS OF OPERATION

Kureev Viktor Dmitrievich,
Moscow region, Russia, kureev@niiks.com

Kuzmich Anton Antonovoch,
Moscow region, Russia

Medushevskiy Lucyan Stanislavovich,
Moscow region, Russia

Sokolov Yuriy Aleksandrovich,
Moscow region, Russia, yuriys1939@rambler.ru

Abstract

The place of computing systems reliability assessment and control in the process of creation and the structure of the system operation of rocketry (SOR), highlighted factors and vectors of development of information and program-algorithmic collateral to meet the challenges of risk management on the stages of the life cycle of products promising technology. Introduced classification of statistical and probabilistic tasks that make up the new methodology Toolkit system to ensure the reliability of the rocket and space industry, highlighted core basic statistical functions. On the basis of the standard statistical tasks and analyze potential sources of distortion possible outcomes evaluation, the task of choosing a method of solution for each basic task is formulated as a problem best estimation taking into account the requirements for the accuracy of statistics (ε -criterion), the adequacy of the model (α -criterion), и the correctness of the algorithm (ω -criterion). Dana setting rational distribution of tasks between the ground-based risk management and on-board computing tools manned spacecrafts, reusable rockets space destination and spacecraft a long operation.

Keywords: automated information system, sources of risk; risk models, risk management objectives; operation by State; operational control and management of the operation.

References

1. Gvardeicev M.I., Morozov V.P., Rosenberg V.J. Special software control. Under general supervision M. Gvardeicev: M.: Sov. radio, 1978. 512 p.
2. Pletnevl., Rembeza A., Sokolov Y. The effectiveness and reliability of complex systems. M.: Mashinostroenie; 1977. 216 p.
3. Gnedenko B. V., Belyaev Yu.K., Solovyev A.D. Mathematical methods in reliability theory. M.: Nauka. 1965. P. 541 p.
- Mesarovich M., Takahara Ya. General theory of systems: mathematical bases. M.: Mir. 1977. 311 p.
4. Reliability and efficiency in equipment. Directory. / under V. S. Avduyevsky edition and other. M.: Mechanical engineering, 1986, V.1. 224 p.
5. Griбанov V., Rembeza A., Sokolov Y. and other. Methods of refining the scientific and commercial rocket-space systems. Under general supervision V. Griбанov. M.: Mashinostroenie, 1995. 352 p.
6. «Masghinbiling» Encyclopedia. Editorial Board: K. Frolov and other. Val. IV -3. The reliability of machines. Kluev V., Bolotin V., Sokolov Y. and other. M.: Mashinostroenie. 1998. 592 p.
7. Golovanev I., Medushevskiy L., Sokolov Y. Influence of level of reliability in the distribution of tasks and areas of application of propulsion systems with limited speed of the rocket jets and limited capacity in advanced aerospace transportation systems. Seventh International Aerospace Congress 26-31 August, 2012. Moscow. Russia.
8. Sokolov Y. To the notion of independence of random events. SPt.: LA «Professional», 2014. 112 p.
9. «New high tech in engineering». Encyclopedia. Под общей редакцией канд. юрид. наук D. Panov. Val. 35. Integrated innovative solutions to ensure the quality and safety problems when creating and technological preparation of production of highly reliable forward-looking rocketry. Panov D., Ivanov D. and other. M.: NII «ENCITECH», 2015. 464 p.
10. Makarov Y., Sokolov Y. Innovation space industry in terms of solving technological problems to ensure the quality, reliability and security prospective products of rocket and space technology. M.: NII «ENCITECH», 2015. 411 p.

Information about authors:

Kureev V.D., Ph.D., professor, deputy chief of a complex of system researches and scientific and methodical ensuring tests and operation of space-rocket equipment «Research institute of space systems of a name of A.A. Maksimov» — Federal state unitary enterprise branch «State space research and production center of a name of M. V. Khrunichev»;

Kuzmich A.A., chief of department of a complex of system researches and scientific and methodical ensuring tests and operation of space-rocket equipment «Research institute of space systems of a name of A.A. Maksimov» — Federal state unitary enterprise branch «State space research and production center of a name of M. V. Khrunichev»;

Medushevskiy L.S., Ph.D., main research associate of a complex of system researches and scientific and methodical ensuring tests and operation of space-rocket equipment «Research institute of space systems of a name of A.A. Maksimov» -Federal state unitary enterprise branch «State space research and production center of a name of M. V. Khrunichev»;

Sokolov Y.A., Ph.D., main research associate of a complex of system researches and scientific and methodical ensuring tests and operation of space-rocket equipment «Research institute of space systems of a name of A.A. Maksimov» — Federal state unitary enterprise branch «State space research and production center of a name of M. V. Khrunichev».

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 сносок (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), приставочный 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.