

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЗЕМЛИ

Научно-технический журнал

Журнал **H&ES Research** издаётся с 2009 года, 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.

Журнал H&ES Research входит в перечень изданий, публикации в которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ), в систему российского индекса научного цитирования (РИНЦ), а также включен в Международный классификатор периодических изданий.

Тематика публикуемых статей в соответствии с перечнем групп специальностей научных работников по Номенклатуре специальностей: • 01.01.00 Математика • 05.11.00 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.

Учредитель: ООО «ИД Медиа Паблшер». **Издатель:** СВЕТЛАНА ДЫМКОВА. **H&ES Research** зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Издательская лицензия ПИ № ФС 77-60899.

Язык публикаций: русский, английский.

Периодичность выхода – 6 номеров в год.

Главный редактор: КОНСТАНТИН ЛЕГКОВ

Редакционная коллегия: **БОБРОВСКИЙ В.И.**, д.т.н., доцент; **БОРИСОВ В.В.**, д.т.н., профессор, Действительный член академии военных наук РФ; **БУДКО П.А.**, д.т.н., профессор; **БУДНИКОВ С.А.**, д.т.н., доцент, Действительный член Академии информатизации образования; **ВЕРХОВА Г.В.**, д.т.н., профессор; **ГОНЧАРОВСКИЙ В.С.**, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ; **КОМАШИНСКИЙ В.И.**, д.т.н., профессор; **КИРПАНЕВ А.В.**, д.т.н., доцент; **КУРНОСОВ В.И.**, д.т.н., 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.**, д.т.н., профессор; **МОРОЗОВ А.В.**, д.т.н., профессор, Действительный член Академии военных наук РФ; **МОШАК Н.Н.**, д.т.н., доцент; **ПРОРОК В.Я.**, д.т.н., профессор; **СЕМЕНОВ С.С.**, д.т.н., доцент; **СИНИЦЫН Е.А.**, д.т.н., профессор; **ШАТРАКОВ Ю.Г.**, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ.

Адрес редакции: 111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, д. 8, офис 512-514; 194044, Россия, СПб, Лесной Проспект, 34-36, к. 1, Тел.: +7(911) 194-12-42.

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

Мнения авторов не всегда совпадают с точкой зрения редакции. За содержание рекламных материалов редакция ответственности 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 направить материалы на электронную почту: HT-ESResearch@yandex.ru. С требованиями можно ознакомиться на сайте: www.H-ES.ru.

Все номера журнала находятся в свободном доступе на сайте.

© ООО «ИД Медиа Паблшер» 2017

HIGH TECHNOLOGIES IN EARTH SPACE RESEARCH

Scientific and Technical Journal

H&ES

RESEARCH

Том 9, № 3-2017

H&ES Research is published since 2009. 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.

The journal H&ES Research 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.

Founder: "Media Publisher", LLC. **Publisher:** SVETLANA DYMKOVA.

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. Publishing license ПИ № ФС 77-60899.

Language of publications: Russian, English.

Periodicity – 6 issues per year.

Editor in chief: KONSTANTIN LEGKOV

Editorial board: **BOBROWSKY V.I.**, Ph.D., associate professor; **BOBISOV V.V.**, Ph.D., professor; **BUDKO P.A.**, Ph.D., professor; **BUDNIKOV S.A.**, Ph.D., associate professor, Actual Member of the Academy of Education Informatization; **VERHOVA G.V.**, Ph.D., professor; **GONCHAREVSKY V.S.**, Ph.D., professor, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation; **KOMASHINSKIY V.I.**, Ph.D., professor; **KIRPANEEV 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.

Address of edition: 111024, Russia, Moscow, st. Aviamotornaya, 8, office 512-514; 194044, Russia, St. Petersburg, Lesnoy av., 34-36, h.1, Phone: +7 (911) 194-12-42.

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

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.

POSTGRADUATE 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.

All issues of the journal are in a free access on a site.

© "Media Publisher", LLC 2017

СОДЕРЖАНИЕ

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Копкин Е. В., Кобзарев И. М., Зверева Е. Е.

Квазиоптимальный алгоритм построения гибкой программы анализа технического состояния объекта 4

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Тарасов А. Г., Минаков Е. П.

Комплекс моделей оценивания характеристик экстремальных ситуаций и определения состава робототехнического комплекса ликвидации экстремальных ситуаций в процессе подготовки и пуска ракет космического назначения 14

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Алисевич Е. А., Гусев А. П.

Применение контактной разности потенциалов разнородных материалов при измерении сопротивления растеканию тока на полевых узлах связи 26

Моисеев А. А.

Оценка параметров наблюдения методом редукции 31

Ромашкова О. Н., Самойлов В. Е.

К определению качества пакетной передачи речи в сетях подвижной связи 39

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Буренин А. Н., Легков К. Е., Левко И. В.

Организация эффективного функционирования информационных подсистем автоматизированных систем управления сложными организационно-техническими объектами на основе методов управления процессами предоставления информационных услуг 45

Верхова Г. В., Акимов С. В.

Система электронного обучения на базе интерактивных мультимедийных учебно-методических комплексов, интегрированных в киберсреду виртуальных предприятий 55

Волков В. Ф., Толмачев А. А.

Методика учета риска и неопределенности на ранних стадиях жизненного цикла разрабатываемой автоматизированной системы управления 63

ПУБЛИКАЦИИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

Беянский В. Б., Пронина Е. Д., Батхуяг У.

Некоторые особенности организации сети цифрового радиовещания длинноволнового диапазона 71

ИНДЕКСИРОВАНИЕ ЖУРНАЛА H&ES RESEARCH

Ulrich's Periodicals Directory • NEICON • CyberLenika (Open Science) • Bielefeld Academic Search Engine (BASE) • Googl Scholar • Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU • OCLC WorldCat • Registry of Open Access Repositories (ROAR)

CONTENTS

AVIATION, SPACE-ROCKET HARDWARE

Kopkin E. V., Kobzarev I. M., Zvereva E. E.

Quasi-optimal algorithm for constructing a flexible analysis program of an object technical state 4

AVIATION, SPACE-ROCKET HARDWARE

Tarasov A. G., Minakov E. P.

The complex of models of characteristics assessment of extreme situations and determine the composition of a robotics complex liquidation of extreme situations in the process of preparing and launching space rockets space rockets 14

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Alisevich E. A., Gusev A. P.

The use of contact difference of potentials dissimilar materials in the measurement of the resistance to current spreading on field nodes 26

Moiseev A. A.

Observation parameters estimation using reduction method 31

Romashkova O. N., Samoylov V. E.

To the definition of packet speech transmission quality in mobile networks 39

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

Burenin A. N., Legkov K. E., Levko I. V.

Effective functioning organization of information subsystems of automated control systems for complex organizational-technical objects based on the methods of process management of information services provision processes control 45

Verkhova G. V., Akimov S. V.

E-learning system based on interactive multimedia teaching sets integrated in the cyber virtual enterprise 55

Volkov V. F., Tolmachev A. A.

Methodology of risk and uncertainty in the early stages of the development life-cycle automated control systems 63

PUBLICATIONS IN ENGLISH

Belyansky V. B., Pronina E. D., Batuhug U.

Some peculiarities of the organization of the digital radio broadcasting network of the long-wave range 71

JOURNAL H&ES RESEARCH INDEXING

Ulrich's Periodicals Directory • NEICON • CyberLenika(Open Science) • Bielefeld Academic Search Engine (BASE) • Googl Scholar • Scientific electronic library eLIBRARY.RU • OCLC WorldCat • Registry of Open Access Repositories (ROAR)

КВАЗИОПТИМАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ГИБКОЙ ПРОГРАММЫ АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА

Копкин Евгений Вениаминович,

д.т.н, профессор Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия, kopkins@mail.ru

Кобзарев Игорь Михайлович,

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

Зверева Елена Евгеньевна,

курсант Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия, lenazvereva-sun@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение: оптимизация процессов анализа технического состояния сложных объектов на основе использования метода динамического программирования требует значительных вычислительных затрат, особенно при большой размерности таблицы состояний таких объектов. Цель: разработка алгоритма построения гибкой программы анализа технического состояния объекта, позволяющего получать близкий к оптимальному результат с меньшими вычислительными затратами по сравнению с методом динамического программирования. Методы: метод ветвей и границ, модифицированный авторами применительно к процессу анализа технического состояния объекта, с использованием в качестве показателя оптимизации предложенной академиком А. А. Харкевичем меры семантической полезности информации, получаемой при выполнении проверок дискретных диагностических признаков. Результаты: при построении квазиоптимального алгоритма на каждом шаге функционирования программы необходимо выбирать для проверки такой диагностический признак, которому соответствует максимальное значение верхней границы семантической полезности получаемой информации. Для вычисления верхней границы оптимизируемого показателя использовалось известное свойство меры Харкевича, заключающееся в том, что значение этой меры будет наибольшим при максимальном различии вероятностей исходов проверок диагностических признаков. Разработанный алгоритм представлен в виде последовательных шагов, позволяющих определить минимальную совокупность диагностических признаков, проверки которых обеспечивают распознавание каждого из заданных технических состояний объекта с максимальной в среднем семантической полезностью получаемой диагностической информации. Представлен пример реализации разработанного алгоритма, иллюстрирующий сущность предлагаемого подхода. Практическая значимость: разработанный алгоритм может быть использован при создании специального математического обеспечения автоматизированных комплексов анализа технического состояния сложных объектов.

Ключевые слова: техническое состояние объекта; гибкая программа анализа; метод ветвей и границ; семантическая полезность информации.

Для цитирования: Копкин Е. В., Кобзарев И. М., Зверева Е. Е. Квазиоптимальный алгоритм построения гибкой программы анализа технического состояния объекта // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 3. С. 4-12.

Введение

В технической диагностике широко применяются информационные системы мониторинга состояния проверяемых объектов. Они обеспечивают реализацию процесса анализа состояния объекта путем совместной обработки опытной (текущей) информации, получаемой от объекта — источника информации с помощью системы измерений или наблюдения, и априорной информации, хранящейся в системе в виде знаний и правил.

Объекты анализа могут иметь различную физическую природу в зависимости от области применения. Однако формально они представляются одинаково в виде совокупности характерных признаков, которую называют состоянием объекта. Задачи, возникающие при анализе, в основном, заключаются в том, чтобы достичь цели (распознать конкретное состояние объекта) наилучшим в смысле выбранного показателя качества образом.

Анализируемый объект может случайным образом оказаться в одном из множества искомого состояний. Существует множество путей достижения цели, исходящих из начального состояния процесса анализа. Одним из способов представления диагностической процедуры является ориентированный граф, имеющий одну антитупиковую (начальную) вершину и некоторое число тупиковых (конечных) вершин, обозначающих распознаваемые состояния объекта. Промежуточным вершинам графа соответствуют подмножества «подозреваемых» состояний, в одном из которых находится объект, а дугам — случайные исходы проверок, выполняемых в процессе распознавания его состояния. При разных методах построения получаются разные варианты диагностических процедур для одного и того же объекта. Для выбора наилучшего из этих вариантов используются различные критерии.

Метод динамического программирования обеспечивает получение строго оптимальной в смысле выбранного критерия гибкой программы анализа технического состояния (ТС) объекта. Однако при этом требуется выполнять значительный объем вычислений, который стремительно возрастает по мере увеличения числа распознаваемых ТС объекта и числа проверок в нем. Кроме того, в некоторых задачах анализа возможны такие ситуации, когда цена последующей проверки зависит от того, какой была предшествующая проверка. В этом случае принцип оптимальности Беллмана не выполняется, что затрудняет применение метода динамического программирования.

Таким образом, не всегда целесообразно, а иногда и просто невозможно получение строго оптимальной программы анализа, поскольку затраты на оптимизацию превосходят достигаемый при этом выигрыш. В этих условиях оказывается более выгодным построение достаточно «хороших» в определенном смысле программ анализа, в которых близкое к оптимальному решение получается при сравнительно меньших затратах. Снижение затрат на синтез таких программ достигается, в основном, использованием более простых и более экономичных в вычислительном отношении критериев и методов оптимизации. Хотя

при этом, возможно, и не достигается строгого оптимума, но в целом синтезированная программа оказывается «почти оптимальной» и обеспечивает заданное качество анализа. Такие программы, базирующиеся на использовании метода ветвей и границ, называются квазиоптимальными.

Выбор проверки в каждой точке ветвления программы производится так, чтобы используемая целевая функция принимала экстремальное значение. При использовании метода ветвей и границ в качестве целевой функции выступает так называемая нижняя (верхняя) граница оптимизируемого показателя.

К настоящему времени на основе метода ветвей и границ разработан ряд алгоритмов построения квазиоптимальных гибких программ анализа (ГПА) технического состояния объектов [1–4], у которых в качестве целевой функции используются средние затраты и средняя информативность, а диагностические признаки имеют дискретную и непрерывную формы представления. Между тем, использование для построения ГПА предложенного А. А. Харкевичем показателя полезности (ценности) информации позволяет существенно сократить ее семантическую избыточность, под которой понимается не избыток смыслового содержания получаемых сообщений, а бесполезность некоторых из них для раскрытия этого содержания. Однако алгоритм построения ГПА по данному показателю разработан только в рамках метода динамического программирования [5]. Поэтому разработка алгоритма построения квазиоптимальной ГПА по критерию максимума семантической полезности информации на основе использования метода ветвей и границ представляется актуальной и практически значимой задачей.

Математическая постановка задачи

Для решения задачи воспользуемся диагностической моделью [6], которая представляет собой два упорядоченных множества

$$M_o = \langle S, \Pi, \Sigma, P, \Phi \rangle; \quad (1)$$

$$M_n = \langle S, \Omega, P, \hat{\Pi} \rangle. \quad (2)$$

Первое из этих множеств является моделью объекта анализа, а второе — моделью процесса определения технического состояния объекта, то есть процесса анализа.

Модели (1) и (2) содержат следующие элементы:

$S = \{S_i \mid i = \overline{1, m}\}$ — множество ТС, в одном из которых может находиться проверяемый объект;

$\hat{\Pi} = \{\hat{\pi}_j \mid j = \overline{1, n}\}$ — множество проверок, взаимно однозначно соответствующее множеству $\Pi = \{\pi_j \mid j = \overline{1, n}\}$ диагностических признаков, на котором все ТС $S_i \in S$ попарно различимы, т.е. $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ есть проверка соответствующего признака $\pi_j \in \Pi$;

$\Sigma = \{\sigma_{ij} \mid i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}\}$ — множество модельных значений признаков, каждый из которых означает наиболее вероятный исход проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ в ТС $S_i \in S$;

$$P = \left\{ P(S_i) \mid \sum_{i=1}^m P(S_i) = 1 \right\} — \text{множество вероятностей}$$

ТС $S_i \in S$;

$\Phi: S \times \Pi \rightarrow \Sigma$ — отображение, устанавливающее связь между элементами множеств Σ , S и Π , согласно которому $\sigma_{ij} = \Phi(S_i, \hat{\pi}_j)$, $S_i \in S$, $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$. Очевидно, что всякое ТС $S_i = [\sigma_{i1}, \sigma_{i2}, \dots, \sigma_{in}]^T$ при фиксированном i есть подмножество множества Σ , т.е. $S_i \subseteq \Sigma$. Для всех $i = \overline{1, m}$ подмножество $S_i \subseteq \Sigma$ образует множество Σ в виде таблицы, строками которой являются ТС $S_i \in S (i = \overline{1, m})$, а столбцами — проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi} (j = \overline{1, n})$;

$\Omega = \{R \mid R \subseteq S\}$ — алгебра подмножеств множества S , в которой элементы R имеют смысл информационных состояний (ИС) моделируемого процесса, а каждый из них представляет собой подмножество «подозреваемых» ТС, в одном из которых может находиться объект в момент анализа его состояния;

$$P = \left\{ P(R) \mid P(R) = \sum_{S_i \in R} P(S_i), R \in \Omega \right\} — \text{вероятностная}$$

мера, заданная на множестве Ω ; вероятности $P(R) \in P$ информационных состояний $R \in \Omega$ как элементов алгебры случайных событий определяются вероятностями входящих в них «подозреваемых» ТС.

В рамках вероятностно-динамической модели (2) реализуется последовательная процедура анализа ТС. Основными ее элементами являются ИС $R \in \Omega$, каждое из которых имеет свою вероятностную меру $P(R)$. Под действием проверок $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ осуществляется последовательный переход от одного ИС к другому, пока не будет определено ТС, в котором находится объект.

Физически каждое ИС $R \in \Omega$ означает подмножество «подозреваемых» технических состояний, в одном из которых находится объект. Различают начальное ИС $R = S$, промежуточные $R \subset S$ и конечные состояния $R = S_i (i = \overline{1, m})$. Каждое из конечных ИС содержит единственное «подозреваемое» состояние S_p , которое воспринимается как опознанное i -е техническое состояние объекта. В дальнейшем конечные ИС будем обозначать $R_i = S_i (i = \overline{1, m})$, а все остальные (неконечные) — $R_k \subseteq S (k = m + 1, m + 2, \dots)$.

Каждая проверка $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ может иметь некоторое (конечное) число исходов. Общее число исходов проверки $\hat{\pi}_j$ в ИС R_k обозначим через ω_{kj} , а порядковый номер исхода — через $v = \overline{1, \omega_{kj}}$. В простейшем случае проверка имеет два исхода — норма — не норма, которым соответствуют модельные признаки, обозначаемые обычно σ_{ij}^1 и σ_{ij}^0 . В более сложном случае из множества модельных признаков $\sigma \in \Sigma$, относящихся к конкретному признаку $\pi_j \in \Pi$, можно выделить ω_{kj} подмножеств, в рамках которых признаки σ_{ij} совпадают. Пронумеруем эти подмножества и обозначим через $\Sigma_j^v (v = \overline{1, \omega_{kj}})$. Соответственно, признаки $\sigma_{ij} \in \Sigma_j^v$ обозначим σ_{ij}^v .

Отдельная проверка $\hat{\pi}_j$ при ее v -м исходе ($v = \overline{1, \omega_{kj}}$) переводит процесс анализа из некоторого ИС $R_k \subseteq S$ в состояние $R_{kj}^v \subset R_k$, реализуя отображение

$$\hat{\pi}_j : R_k \rightarrow R_{kj}^v (v = \overline{1, \omega_{kj}}), \quad (3)$$

где $R_{kj}^v = \{S_i \mid S_i \in R_k, \pi_j = \sigma_{ij}^v\}$, $\sigma_{ij}^v \in \Sigma_j^v$.

Для каждого ИС $R_k \subseteq S$ существует подмножество Π_k так называемых разрешенных (допустимых) проверок $\hat{\pi}_j$, которое определяется по формуле

$$\hat{\Pi}_k = \left\{ \hat{\pi}_j \in \hat{\Pi} \mid \exists (S_i, S_f \in R_k) : (\sigma_{ij} \neq \sigma_{jf}) \right\}, \quad (4)$$

где σ_{ij} и σ_{jf} — модельные значения признака π_j в i -м и f -м ТС ($i, f = \overline{1, m}$) соответственно. Проверяемые признаки, соответствующие разрешенным проверкам, так же называют разрешенными (допустимыми). Их множество определяется по формуле, аналогичной формуле (4).

Вероятность $P_k(\hat{\pi}_j^v)$ перехода из ИС R_k в ИС R_{kj}^v при выполнении проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ определяется по формуле

$$P_k(\hat{\pi}_j^v) = \frac{\sum_{S_i \in R_{kj}^v} P(S_i)}{\sum_{S_i \in R_k} P(S_i)}, v = \overline{1, \omega_{kj}}. \quad (5)$$

Для достижения конечного ИС R_i в общем случае требуется несколько раз выполнить отображение (3), используя при этом проверки различных признаков $\pi_j \in \Pi$. Они выбираются при составлении ГПА ТС объекта. В совокупности эти признаки составляют подмножество $\Pi_i \subseteq \Pi$, проверка которых необходима для определения i -го ТС объекта. С учетом этого процесс перехода из любого ИС $R_k \subseteq S$ в конечное ИС $S_i (i: S_i \in R_k)$, формально можно описать в виде композиции (произведения) отображений (3), реализуемых одной проверкой $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}_i$.

Так как первая проверка признака $\pi_j \in \Pi_i$ применяется в начальном ИС $R_k = S$, а последняя приводит к получению конечного ИС $R_{kj}^v = R_i$, то указанную композицию можем записать как отображение

$$\prod_{\pi_j \in \Pi_i} \hat{\pi}_j : S \rightarrow R_i; i = \overline{1, m}.$$

Составляемую программу будем представлять в виде ориентированного графа G , вершинами которого обозначаются ИС процесса анализа, а дугами — исходы проверок признаков в этих состояниях. Граф G состоит из ветвей $G_i \in U (i - \text{порядковый номер ветви, } U - \text{множество всех ветвей})$, каждая из которых приводит к распознаванию конкретного ТС $S_i (i = \overline{1, m})$, имеет одну начальную и m конечных (по числу возможных ТС объекта) вершин.

Задача синтеза квазиоптимальной ГПА заключается в отыскании упорядоченных подмножеств $\Pi_i \subseteq \Pi$ диагностических признаков, каждое из которых обеспечивает распознавание i -го ТС объекта. При этом на каждом шаге

функционирования ГПА выбирается проверка из числа допустимых в рассматриваемом состоянии $R_k \subseteq S$ таким образом, чтобы в совокупности выбранное конечное число проверок обеспечивало достижение каждого конечного состояния $R_i \in \Omega_i$ ($i: S_i \in R_k$) наилучшим в смысле выбранного показателя образом.

Алгоритм построения ГПА

В основу предлагаемого алгоритма положен принцип выбора наилучшего из возможных направлений поиска ТС, в котором находится объект, на основе метода ветвей и границ. В качестве критерия для выбора наилучшей проверки на каждом шаге ветвления используется максимум верхней границы полезности (ВГП) для любой части составляемой программы.

Сущность метода ветвей и границ при синтезе ГПА заключается в том, что в начальном ИС $R_k = S$ и в каждом из последующих состояний $R_k \subset S$ выбирается для проверки такой признак $\pi_j \in \Pi$, которому соответствует максимальное значение ВГП.

Верхнюю границу полезности, соответствующую выбираемому в ИС $R_k \subset S$ признаку π_j , обозначим через $J_k^2(\pi_j)$ и будем вычислять ее значение по формуле

$$J_k^2(\pi_j) = \sum_{v=1}^{\omega_{kj}} P_k(\hat{\pi}_j^v) \left[\omega_{kj} \log_2 P_k(\hat{\pi}_j^v) - \log_2 \prod_{v=1}^{\omega_{kj}} P_k(\hat{\pi}_j^v) + \tilde{J}_{kj}^v \right], \quad (6)$$

где \tilde{J}_{kj}^v — оценка ВГП, связанная с реализацией R_{kj}^v -подпрограммы, под которой понимается часть G_{kj}^v графа G , получаемая выделением в нем любой вершины $R_{kj}^v \subset S$ вместе с выходящими из нее путями и областью ее достижимости (множество вершин, достижимых из состояния R_{kj}^v , в том числе и конечных вершин $R_i, i: S_i \in R_{kj}^v$). Вершина R_{kj}^v будет соответствовать начальному ИС, а выходящие из нее пути — ветвям R_{kj}^v -подпрограммы.

Формулу (6) можно представить и в другом виде, более удобном для расчетов, а именно:

$$J_k^2(\pi_j) = \sum_{v=1}^{\omega_{kj}} \log_2 P_k(\hat{\pi}_j^v) \left[\omega_{kj} P_k(\hat{\pi}_j^v) - 1 \right] + \sum_{v=1}^{\omega_{kj}} P_k(\hat{\pi}_j^v) \tilde{J}_{kj}^v. \quad (7)$$

Следует отметить, что в конечных ИС $R_i = \{S_i \mid i = \overline{1, m}\}$ значение $\tilde{J}_{kj}^v = 0$, поскольку в этом случае дальнейшие проверки не выполняются.

Условие для получения искомым подмножеств Π_i можно записать в следующем виде:

$$\pi_j \in \Pi_i, \text{ если } J_k^2(\pi_j) = \max_{\pi_s \in \Pi_k} \{J_k^2(\pi_s)\}. \quad (8)$$

Для определения верхней границы полезности $J_k^2(\pi_j)$ необходимо выполнить ряд последовательных шагов.

Шаг 1. Выполним первую проверку $\hat{\pi}_j \in \Pi_k$ в начальном ИС $R_k = S$ и согласно отображению (3) получим ее исходы $R_{kj}^v, v = \overline{1, \omega_{kj}}$ (в начальном ИС все проверки являются

допустимыми). По формуле (5) определим вероятности $P_k(\hat{\pi}_j^v)$ этих исходов.

Шаг 2. Для каждого неконечного исхода R_{kj}^v ($v = \overline{1, \omega_{kj}}$) определим оценку ВГП \tilde{J}_{kj}^v , связанную с необходимостью выполнения дальнейших проверок.

2.1. Если ИС R_{kj}^v является конечным, т.е. $R_{kj}^v = R_i = \{S_i \mid i = \overline{1, m}\}$, то $\tilde{J}_{kj}^v = 0$.

2.2. Если ИС R_{kj}^v состоит только из двух элементов, т.е. $R_{kj}^v = \{S_i, S_f \mid i, f = \overline{1, m}; i \neq f\}$, то значение \tilde{J}_{kj}^v определим по формуле

$$\tilde{J}_{kj}^v = \frac{P(S_i) - P(S_f)}{P(S_i) + P(S_f)} \log_2 \frac{P(S_i)}{P(S_f)}. \quad (9)$$

2.3. Если ИС R_{kj}^v состоит из трех и более элементов, тогда:

2.3.1. Определим для ИС R_{kj}^v по условию (4) множество допустимых проверок $\hat{\Pi}_{kj}^v$;

2.3.2. Выполним проверку $\hat{\pi}_s \in \hat{\Pi}_{kj}^v$ в ИС R_{kj}^v и получим ее исходы $(R_{kj}^v)_s^u$ в соответствии с отображением (3), т.е. $\hat{\pi}_s: R_{kj}^v \rightarrow (R_{kj}^v)_s^u, u = \overline{1, \omega_{kjs}}$.

2.3.3. Обозначим через $P_{kj}^v(\hat{\pi}_s^u)$ вероятности исходов проверки $\hat{\pi}_s$, выполненной в ИС R_{kj}^v , и вычислим их по формуле, аналогичной (5), т.е.

$$P_{kj}^v(\hat{\pi}_s^u) = \frac{\sum_{S_i \in (R_{kj}^v)_s^u} P(S_i)}{\sum_{S_i \in R_{kj}^v} P(S_i)}. \quad (10)$$

2.3.4. Основываясь на известном свойстве меры Харкевича, заключающегося в том, что ее значение будет тем больше, чем сильнее отличаются между собой вероятности исходов проверки, введем в рассмотрение вспомогательную переменную γ_s , значение которой будем определять по формуле

$$\gamma_s = \sum_{u=1}^{\omega_{kjs}} \left(P_{kj}^v(\hat{\pi}_s^u) - \frac{1}{\omega_{kjs}} \right)^2, \quad (11)$$

где ω_{kjs} — число исходов проверки $\hat{\pi}_s$, выполненной в ИС R_{kj}^v .

Выберем проверку $\hat{\pi}_w$, для которой выполняется условие

$$\hat{\pi}_w = \arg \max_{s: \hat{\pi}_s \in \hat{\Pi}_{kj}^v} \{\gamma_s\}. \quad (12)$$

2.3.5. Для проверки $\hat{\pi}_w \in \hat{\Pi}_{kj}^v$, выбранной по условию (12), определим приближенные вероятности $P_{kj}^v(S_i)$ технических состояний $S_i \in R_{kj}^v$, являющихся конечными элементами R_{kj}^v -подпрограммы, по формуле

$$P_{kj}^v(S_i) = \frac{P(S_i)}{\sum_{S_f \in R_{kj}^v} P(S_f)}. \quad (13)$$

2.3.6. Определим оценку ВГП для R_{kj}^v -подпрограммы, получающейся при выполнении в ИС R_{kj}^v проверки $\hat{\pi}_w \in \hat{\Pi}_{kj}^v$, используя формулу

$$\tilde{J}_{kj}^v = \sum_{i: S_i \in R_{kj}^v} \log_2 P_{kj}^v(S_i) [\tau_{kj}^v P_{kj}^v(S_i) - 1], \quad (14)$$

где $\tau_{kj}^v = \text{card } R_{kj}^v$ — мощность множества R_{kj}^v , т.е. число входящих в его состав ТС S_i .

Шаг 3. Выполним операции, описанные на шаге 2, для оставшихся нерассмотренными неконечных исходов R_{kj}^v и для каждого из них определим оценку ВГП \tilde{J}_{kj}^v .

Шаг 4. По формуле (7) определим ВГП $J_k^2(\pi_j)$ проверки $\hat{\pi}_j$, выполненной в начальном ИС $R_k = S$.

Шаг 5. Выполним шаги 2, 3 и 4 для оставшихся нерассмотренными проверок $\hat{\pi}_j$ и определим для них значения ВГП $J_k^2(\pi_j)$.

Шаг 6. По условию (8) выберем оптимальную проверку.

Шаг 7. Применим выбранную оптимальную проверку $\hat{\pi}_j$ к начальному ИС $R_k = S$ и получим ее исходы $R_{kj}^v (v = \overline{1, \omega_{kj}})$.

Шаг 8. Для каждого из неконечных ИС R_{kj}^v выполним шаги 1–6 и определим оптимальные проверки в этих состояниях.

Выполнение алгоритма продолжается до получения всех конечных состояний. После этого можно построить ГПА ТС объекта в виде ориентированного графа G .

Чтобы рассчитать среднюю полезность синтезированной программы, воспользуемся формулой

$$\bar{J}(G) = \sum_{R_k \in \Omega_k} \sum_{v=1}^{\omega_{kj}} P(R_{kj}^v) \left[\omega_{kj} \log_2 P(R_{kj}^v) - \log_2 \prod_{v=1}^{\omega_{kj}} P(R_{kj}^v) \right]. \quad (15)$$

Вероятности $P(R_{kj}^v)$ ИС, входящих в состав синтезированной ГПА, вычислим по формуле

$$P(R_{kj}^v) = \sum_{S_i \in R_{kj}^v} P(S_i). \quad (16)$$

Вычислительные затраты на реализацию предложенного алгоритма получаются значительно меньше, чем у алгоритма, описанного в работе [5], который составлен на основе метода динамического программирования.

Пример реализации алгоритма

Пусть в виде табл. 1 заданы множество $S = \{S_i | i = \overline{1, 10}\}$ ТС объекта анализа, их вероятности $P(S_i), i = \overline{1, 10}$, а также множества $\Pi = \{\pi_j | j = \overline{1, 6}\}$ и $\Sigma = \{\sigma_{ij} | i = \overline{1, 10}; j = \overline{1, 6}\}$. По этим исходным данным составим квазиоптимальную по критерию максимума семантической полезности получаемой информации ГПА методом ветвей и границ.

Решение. Определим верхнюю границу полезности для каждой из проверок, выполняемых в начальном состоянии $R_{1-10} = \{S_1, \dots, S_{10}\}$ и выберем из них наилучшую. В начальном

ИС допустимы все проверки $\hat{\pi}_1, \dots, \hat{\pi}_6$. Например, проверка $\hat{\pi}_1$ согласно отображению (3) дает следующие исходы:

$$\hat{\pi}_1 : R_{1-10} \rightarrow \begin{cases} R_{1-10;1}^1 = \{S_1, S_3, S_4, S_5, S_8, S_9\}, \text{ если } \sigma_{i;1}^1 = a; \\ R_{1-10;1}^2 = \{S_2, S_6, S_7, S_{10}\}, \text{ если } \sigma_{i;1}^2 = b. \end{cases}$$

Таблица 1

Таблица состояний объекта анализа

ТС S_i	Диагностические признаки π_j						$P(S_i)$
	π_1	π_2	π_3	π_4	π_5	π_6	
S_1	a	a	a	a	a	a	0,16
S_2	b	b	a	c	b	a	0,07
S_3	a	b	c	b	b	a	0,12
S_4	a	a	b	d	b	b	0,11
S_5	a	a	c	a	a	c	0,08
S_6	b	b	b	b	a	c	0,09
S_7	b	a	c	d	b	b	0,06
S_8	a	b	c	a	b	c	0,13
S_9	a	a	b	c	a	b	0,1
S_{10}	b	a	a	d	a	c	0,08

По формуле (5) определим вероятности этих исходов:

$$P_{1-10}(\hat{\pi}_1) = \frac{\sum_{i=1,3,4,5,8,9} P(S_i)}{\sum_{i=1}^{10} P(S_i)} = 0,7;$$

$$P_{1-10}(\hat{\pi}_2) = \frac{\sum_{i=2,6,7,10} P(S_i)}{\sum_{i=1}^{10} P(S_i)} = 0,3.$$

Для каждого из этих исходов $R_{1-10;1}^v (v = 1, 2)$ определим оценки $\tilde{J}_{1-10;1}^v$ ВГП информации, получаемой при реализации $R_{1-10;1}^v$ -подпрограмм.

Так, для ИС $R_{1-10;1}^2 = \{S_2, S_6, S_7, S_{10}\}$ допустимые проверки в соответствии с условием (4) составляют подмножество $\hat{\Pi}_{1-10;1}^2 = \{\hat{\pi}_2, \dots, \hat{\pi}_6\}$. Выполним проверку $\hat{\pi}_6$ и определим ее исходы и их вероятности:

$$\hat{\pi}_6 : R_{1-10;1}^2 \rightarrow \begin{cases} (R_{1-10;1}^2)_6^1 = \{S_2\}, \text{ если } \sigma_{2;6}^1 = a; \\ (R_{1-10;1}^2)_6^2 = \{S_7\}, \text{ если } \sigma_{7;6}^2 = b; \\ (R_{1-10;1}^2)_6^3 = \{S_6, S_{10}\}, \text{ если } \sigma_{i;6}^3 = c; \end{cases}$$

$$P_{1-10;1}^2(\hat{\pi}_6^1) = 0,233; P_{1-10;1}^2(\hat{\pi}_6^2) = 0,2; P_{1-10;1}^2(\hat{\pi}_6^3) = 0,567.$$

По формуле (10) вычислим вспомогательную переменную γ_6 , характеризующую разброс этих вероятностей от среднего значения

$$\gamma_6 = \sum_{u=1}^3 \left(P_{1-10;1}^2(\hat{\pi}_6^u) - \frac{1}{3} \right)^2 = 0,082.$$

Выполнив аналогичные вычисления для проверок $\hat{\pi}_2, \dots, \hat{\pi}_5$, рассчитаем значения соответствующих вспомогательных переменных: $\gamma_2 = 0,002$; $\gamma_3 = 0,047$; $\gamma_4 = 0,029$; $\gamma_5 = 0,009$.

В соответствии с условием (12) выберем проверку $\hat{\pi}_6$. По формуле (13) вычислим приближенные вероятности ТС S_i ($i = 2, 6, 7, 10$), являющихся конечными элементами $R_{1-10;1}^2$ -подпрограммы, начинающейся с проверки $\hat{\pi}_6$:

$$P_{1-10;1}^2(S_2) = \frac{P(S_2)}{P(S_2) + P(S_6) + P(S_7) + P(S_{10})} = 0,233;$$

$$P_{1-10;1}^2(S_6) = 0,3; \quad P_{1-10;1}^2(S_7) = 0,2; \quad P_{1-10;1}^2(S_{10}) = 0,267.$$

Теперь вычислим оценку ВГП информации, получаемой при реализации $R_{1-10;1}^2$ -подпрограммы, начинающейся с проверки $\hat{\pi}_6$, используя формулу (14):

$$\tilde{J}_{1-10;1}^2 = \sum_{i=2,6,7,10} \log_2 P_{1-10;1}^2(S_i) [4P_{1-10;1}^2(S_i) - 1] = 0,13.$$

Аналогичным образом рассчитаем значение оценки ВГП информации для $R_{1-10;1}^1$ -подпрограммы: $\tilde{J}_{1-10;1}^1 = 0,396$.

Подставим полученные значения $\tilde{J}_{1-10;1}^v$ ($v = 1, 2$) в формулу (7) и рассчитаем ВГП информации, получаемой при выполнении в начальном состоянии R_{1-10} проверки $\hat{\pi}_6$,

$$J_{1-10}^B(\pi_1) = \sum_{v=1}^2 \log_2 P_{1-10}(\hat{\pi}_1^v) [2P_{1-10}(\hat{\pi}_1^v) - 1] + \sum_{v=1}^2 P_{1-10}(\hat{\pi}_1^v) \tilde{J}_{1-10;1}^v = 0,805.$$

Выполнив аналогичные вычисления для проверок $\hat{\pi}_j$ ($j = 2, 6$), определим соответствующие значения

$$J_{1-10}^2(\pi_j): \quad J_{1-10}^2(\pi_2) = 0,73; \quad J_{1-10}^2(\pi_3) = 0,465;$$

$$J_{1-10}^2(\pi_4) = 0,707; \quad J_{1-10}^2(\pi_5) = 0,588; \quad J_{1-10}^2(\pi_6) = 0,42.$$

По условию (8) для проверки в начальном ИС R_{1-10} выберем признак π_1 .

Для каждого из исходов проверки $\hat{\pi}_1$, выполненной в ИС R_{1-10} , определим наиболее полезные диагностические признаки, действуя аналогичным образом.

Определим сначала верхнюю границу полезности для каждой из проверок, допустимых в ИС $R_{1,3,4,5,8,9} = \{S_1, S_3, S_4, S_5, S_8, S_9\}$, и выберем из них наилучшую. В соответствии с условием (4) для этого ИС допустимые проверки образуют

множество $\hat{\Pi}_{1,3,4,5,8,9} = \{\hat{\pi}_2, \dots, \hat{\pi}_6\}$. Проверка $\hat{\pi}_3$, например, дает следующие исходы:

$$\hat{\pi}_3 : R_{1,3,4,5,8,9} \rightarrow \begin{cases} R_{1,3,4,5,8,9;3}^1 = \{S_1\}, & \text{если } \sigma_{1;3}^1 = a; \\ R_{1,3,4,5,8,9;3}^2 = \{S_4, S_9\}, & \text{если } \sigma_{i;6}^2 = b; \\ R_{1,3,4,5,8,9;3}^3 = \{S_3, S_5, S_8\}, & \text{если } \sigma_{i;6}^3 = c; \end{cases}$$

Вероятности этих исходов вычислим по формуле (5):

$$P_{1,3,4,5,8,9}(\hat{\pi}_3^1) = 0,23; \quad P_{1,3,4,5,8,9}(\hat{\pi}_3^2) = 0,3; \quad P_{1,3,4,5,8,9}(\hat{\pi}_3^3) = 0,47.$$

Для каждого из этих исходов определим оценки $\tilde{J}_{1,3,4,5,8,9;3}^v$ ($v = \overline{1, 3}$) ВГП информации, получаемой при реализации $R_{1,3,4,5,8,9;3}^v$ -подпрограмм.

Первый исход $R_{1,3,4,5,8,9;3}^1 = \{S_1\}$ является конечным, поэтому для него $\tilde{J}_{1,3,4,5,8,9;3}^1 = 0$.

ИС $R_{1,3,4,5,8,9;3}^2 = \{S_4, S_9\}$ состоит из двух элементов. Для вычисления значения оценки $\tilde{J}_{1,3,4,5,8,9;3}^2$ воспользуемся формулой (9):

$$\tilde{J}_{1,3,4,5,8,9;3}^2 = \frac{P(S_4) - P(S_9)}{P(S_4) + P(S_9)} \log_2 \frac{P(S_4)}{P(S_9)} = 0,07.$$

Рассмотрим теперь ИС $R_{1,3,4,5,8,9;3}^3 = \{S_3, S_5, S_8\}$, состоящее из трех элементов, для которого $\hat{\Pi}_{1,3,4,5,8,9;3}^3 = \{\hat{\pi}_2, \hat{\pi}_4, \hat{\pi}_5, \hat{\pi}_6\}$. Выполнив аналогичные вычисления, определим, что значение $\tilde{J}_{1,3,4,5,8,9;3}^3 = 0,18$. Подставим полученные результаты в формулу (7) и рассчитаем ВГП информации, получаемой при выполнении в ИС $R_{1,3,4,5,8,9}$ проверки $\hat{\pi}_3$:

$$J_{1,3,4,5,8,9}^B(\pi_3) = \sum_{v=1}^3 \log_2 P_{1,3,4,5,8,9}(\hat{\pi}_3^v) [3P_{1,3,4,5,8,9}(\hat{\pi}_3^v) - 1] + \sum_{v=1}^3 P_{1,3,4,5,8,9}(\hat{\pi}_3^v) \tilde{J}_{1,3,4,5,8,9;3}^v = 0,481.$$

Аналогичным образом определим соответствующие значения $J_{1,3,4,5,8,9}^2(\pi_j)$, $j = 2, 4, 5, 6$:

$$J_{1,3,4,5,8,9}^2(\pi_2) = 0,486; \quad J_{1,3,4,5,8,9}^2(\pi_4) = 2,147;$$

$$J_{1,3,4,5,8,9}^2(\pi_6) = 0,159. \quad J_{1,3,4,5,8,9}^2(\pi_5) = 0,194;$$

По условию (8) для проверки в ИС $R_{1,3,4,5,8,9}$ выберем признак π_4 .

Таким же образом определим, что наилучшим для проверки в ИС $R_{2,6,7,10}$ является признак π_6 .

Применяя выбранные проверки к соответствующим ИС и действуя аналогично, выберем признаки, обладающие наибольшей семантической полезностью.

Процесс построения ГПА завершим после достижения всех конечных состояний. Основываясь на полученных

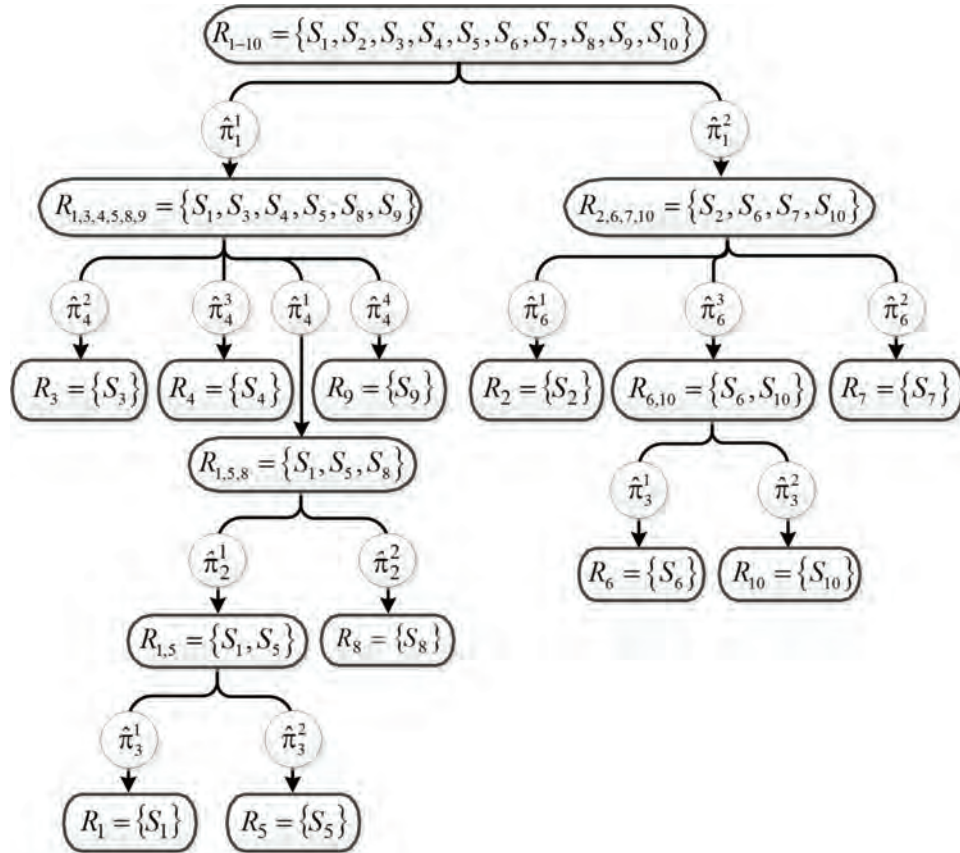


Рис. 1. Квазиоптимальная по критерию максимума полезности получаемой информации ГПА ТС объекта

результатах, построим ГПА в виде ориентированного графа, представленного на рис. 1.

Упорядоченные по очередности проверки подмножества Π_i ($i = \overline{1,10}$), каждое из которых обеспечивает распознавание i -го ТС объекта, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Наборы признаков, необходимых для распознавания ТС объекта

ТС S_i	Π_i для ТС S_i	ТС S_i	Π_i для ТС S_i
S_1	$\Pi_1 = \{\pi_1, \pi_4, \pi_2, \pi_3\}$	S_6	$\Pi_6 = \{\pi_1, \pi_6, \pi_3\}$
S_2	$\Pi_2 = \{\pi_1, \pi_6\}$	S_7	$\Pi_7 = \{\pi_1, \pi_6\}$
S_3	$\Pi_3 = \{\pi_1, \pi_4\}$	S_8	$\Pi_8 = \{\pi_1, \pi_4, \pi_2\}$
S_4	$\Pi_4 = \{\pi_1, \pi_4\}$	S_9	$\Pi_9 = \{\pi_1, \pi_4\}$
S_5	$\Pi_5 = \{\pi_1, \pi_4, \pi_2, \pi_3\}$	S_{10}	$\Pi_{10} = \{\pi_1, \pi_6, \pi_3\}$

Рассчитаем среднюю полезность синтезированной ГПА, используя формулу (15). Сначала определим вероятности $P(R_{ij}^v)$ ИС, являющихся элементами данной программы, используя формулу (16):

$$P(R_{1-10;1}^1) = P(R_{1,3,4,5,8,9}) = 0,7; \quad P(R_{1-10;1}^2) = P(R_{2,6,7,10}) = 0,3;$$

$$P(R_{1,3,4,5,8,9;4}^1) = P(R_{1,5,8}) = 0,37; \quad P(R_{1,3,4,5,8,9;4}^2) = P(S_3);$$

$$P(R_{1,3,4,5,8,9;4}^3) = P(S_4); \quad P(R_{1,3,4,5,8,9;4}^4) = P(S_9);$$

$$P(R_{2,6,7,10;6}^1) = P(S_2); \quad P(R_{2,6,7,10;6}^2) = P(S_7);$$

$$P(R_{2,6,7,10;6}^3) = P(R_{6,10}) = 0,17; \quad P(R_{1,5,8;2}^1) = P(R_{1,5}) = 0,24;$$

$$P(R_{1,5,8;2}^2) = P(S_8); \quad P(R_{6,10;3}^1) = P(S_6); \quad P(R_{6,10;3}^2) = P(S_{10});$$

$$P(R_{1,5;3}^1) = P(S_1); \quad P(R_{1,5;3}^2) = P(S_5).$$

Полученное значение средней полезности информации, получаемой при функционировании составленной программы, можно сравнить с аналогичным значением, рассчитанным для программы, синтезированной с помощью метода динамического программирования.

Заключение

Разработанный алгоритм позволяет распознавать все заданные технические состояния объекта, используя при этом наиболее эффективные в смысле выбранного критерия диагностические признаки.

Для проверки эффективности разработанного алгоритма на основе тех же исходных данных была синтезирована оптимальная программа анализа ТС объекта методом динамического программирования. Результаты сравнения двух программ показали, что вычислительные затраты на синтез программы методом ветвей и границ оказались на 30% меньше, чем при использовании метода динамического программирования, при том что средняя полезность снизилась на 15%.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что представленный в статье научно-методический аппарат можно использовать при разработке специального математического обеспечения программно-аппаратных комплексов автоматизированной обработки и анализа измерительной информации, используемых для мониторинга состояния сложных организационно-технических систем, как для решения задач контроля правильности их функционирования, так и при поиске дефектов в них с заданной глубиной.

Литература

1. *Дмитриев А. К., Мальцев П. А.* Основы теории построения и контроля сложных систем. Л.: Энергоатомиздат, 1988. 192 с.

2. *Дмитриев А. К., Мышко В. В.* Синтез гибкой программы контроля технического состояния объекта по информационному показателю // Изв. вузов. Приборостроение. 1998. Т. 41. № 5. С. 36–46.

3. *Дмитриев А. К., Копкин Е. В.* Синтез гибкой квазиоптимальной программы диагностирования технического объекта при использовании непрерывных диагностических признаков // Изв. вузов. Приборостроение. 1999. Т. 42. № 7. С. 3–12.

4. *Дмитриев А. К., Копкин Е. В., Павлов С. Б.* Алгоритм построения квазиоптимальной программы диагностирования технического объекта по информационному критерию // Изв. вузов. Приборостроение. 2001. Т. 44. № 9. С. 3–11.

5. *Дмитриев А. К., Копкин Е. В.* Построение информационно-поисковой системы по критерию максимума полезности получаемой информации // Авиакосмическое приборостроение. 2003. № 6. С. 46–51.

6. *Копкин Е. В., Кравцов А. Н., Лазутин О. Г.* Выбор дискретных диагностических признаков с учетом их ценности для распознавания технического состояния объекта // Информация и космос. 2015. № 2. С. 111–117.

QUASI-OPTIMAL ALGORITHM FOR CONSTRUCTING A FLEXIBLE ANALYSIS PROGRAM OF AN OBJECT TECHNICAL STATE

Evgeniy V. Kopkin,

Saint-Petersburg, Russia, kopkins@mail.ru

Igor M. Kobzarev,

Saint-Petersburg, Russia, kobzaryan@mail.ru

Elena E. Zvereva,

Saint-Petersburg, Russia, lenazvereva-sun@mail.ru

ABSTRACT

Introduction: The analysis process optimization of the complex object technical state based on the dynamic programming method requires the considerable computational expenditure, especially in the large dimension of such objects state table. Purpose: The development of an algorithm for constructing a flexible analysis program of an object technical state allowing to receive near optimal result with smaller computational expenditure as compared to dynamic programming method. Methods: Branch and bound method, modified by the authors in relation to analysis process of an object technical state using as an optimization index the measure of information semantic usefulness obtained in case of execution of checks of the discrete diagnostic signs proposed by the academician A. A. Harkevich. Results: In constructing the quasi-optimal algorithm at each step of program functioning it is necessary to select such diagnostic sign to which there corresponds the maximum value of upper bound of semantic usefulness of the obtained information for check. For computation of upper bound of an optimized index the known property of Harkevich's measure

was used which means that it will reach the greatest value in case of the maximum distinction of probabilities of result of checks of diagnostic signs. The developed algorithm is presented in the form of the sequential steps allowing to define the minimum set of diagnostic signs the check of which provides recognition of each of the given object technical states, as a rule with maximum semantic usefulness of the obtained diagnostic information. The example of implementation of the developed algorithm illustrating an entity of the offered approach is given. Practical relevance: The proposed algorithm can be used in the development of special software of automated analysis systems of the complex object technical state.

Keywords: object technical state; flexible analysis program; branch and bound method; semantic usefulness of information.

References

1. Dmitriev A.K., Mal'tsev P.A. *Osnovy teorii postroeniia i kontrolya slozhnykh system* [Basic Theory of Construction and Control of Complex Systems]. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1988. 120 p. (In Russian)
2. Dmitriev A.K., Mishko V.V. The Synthesis of Flexible Control Program of Object Product Availability by Information Index. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutes. Instrument Making]. 1998. No. 5. Pp. 36-46. (In Russian)
3. Dmitriev A.K., Kopkin E.V. The Synthesis of Flexible Quasi-Optimal Programm for Technical Object Diagnosing Using the Continuous Diagnostic Signs. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutes. Instrument Making]. 1999. No. 7. Pp. 3-12. (In Russian)
4. Dmitriev A.K., Kopkin E.V., Pavlov S.B. Construction Algorithm of Quasi-Optimal Program for Technical Object Diagnosing by Information Criterion. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutes. Instrument Making]. 2001. No. 9. Pp. 3-11. (In Russian)
5. Dmitriev A.K., Kopkin E.V. The Construction of an Information Retrieval System According to the Criterion of Maximum Usefulness of the Information Obtained. *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace Instrument Making]. 2003. No. 6. Pp. 46-51. (In Russian)
6. Kopkin E.V., Kravtsov A.N., Lazutin O.G. Discrete Diagnostic Signs Selection by their Value for Recognition of Object Technical Condition. *Informatsia i kosmos* [Information and Space]. 2015. No. 2. Pp. 111-117. (In Russian)

Information about authors:

Kopkin E.V., PhD, professor at the Department of Technologies and Automation Tools of Information Processing and Analysis of Space Vehicles of the Military Space Academy;
Kobzarev I.M., postgraduate Student of the Military Space Academy;
Zvereva E.E., cadet of the Military Space Academy.

For citation: Kopkin E. V., Kobzarev I. M., Zvereva E. E. Quasi-optimal algorithm for constructing a flexible analysis program of an object technical state. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 3. Pp. 4-12. (In Russian)

КОМПЛЕКС МОДЕЛЕЙ ОЦЕНИВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ИХ ЛИКВИДАЦИИ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ И ПУСКА РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Тарасов Анатолий Геннадьевич,

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

Минаков Евгений Петрович,

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

АННОТАЦИЯ

Одной из основных задач системы эксплуатации ракетно-космических комплексов является обеспечение требуемых показателей надежности и безопасности эксплуатации объектов космодрома. При этом практика эксплуатации ракетно-космических комплексов свидетельствует о регулярном возникновении происшествий на объектах космодромов, иногда заканчивающихся трагедиями, в связи с чем возникает необходимость совершенствования системы эксплуатации ракетно-космических комплексов для обеспечения своевременности и безопасности выполнения задач подготовки и пуска ракет космического назначения в условиях возникновения экстремальных ситуаций. Проблема обеспечения безопасности на опасных объектах в настоящее время решается применением робототехнических систем робототехнических систем и комплексов робототехнических комплексов. Особенность процесса подготовки и пуска ракет космического назначения заключается в строго регламентированном времени окончания, обусловленном «окном запуска» для выведения космического аппарата в заданную точку орбиты. В связи с этим применение робототехнических комплексов для ликвидации экстремальных ситуаций в процессе подготовки и пуска ракет космического назначения должно обеспечивать не только безопасность системы эксплуатации ракетно-космических комплексов, но и своевременность подготовки и пуска ракет космического назначения. Для обеспечения эффективного выполнения задач подготовки и пуска ракет космического назначения в различных условиях обстановки необходимо разработать модельно-алгоритмическое описание возможных штатных и нештатных состояний функционирования объектов ракетно-космических комплексов, оценить вероятности возникновения экстремальных ситуаций на объектах ракетно-космических комплексов по их показателям надежности и безопасности, определить пространственно-временные характеристики областей экстремальных ситуаций по известным массово-энергетическим характеристикам объектов ракетно-космических комплексов, инициирующих возникновение экстремальных ситуаций. Разработка комплекса моделей, обеспечивающего получение характеристик экстремальных ситуаций и позволяющего определить состав робототехнических комплексов для устранения экстремальных ситуаций, должна осуществляться с позиций системного подхода, который заключается в рассмотрении исследуемых систем в их взаимосвязи гншги взаимодействии со средой, основанного на комбинированном использовании логических, лингвистических и математических моделей и алгоритмов, обеспечивающих обработку информации в реальном времени больших объемов измерительной информации.

Ключевые слова: функциональная структура; робототехнический комплекс; экстремальная ситуация; безопасность системы эксплуатации.

Для цитирования: Тарасов А. Г., Минаков Е. П. Комплекс моделей оценивания характеристик экстремальных ситуаций и определения состава робототехнического комплекса ликвидации экстремальных ситуаций в процессе подготовки и пуска ракет космического назначения // Научные технологии в космических исследованиях земли. 2017. Т. 9. № 3. С. 14-24.

Введение

Под системой эксплуатации ракетно-космических комплексов (СЭ РКК) понимается иерархически организованная совокупность органов управления, средств и объектов эксплуатации, обеспечивающая решение задач комплекса с требуемой эффективностью на всех этапах эксплуатации РКК. При проектировании и разработке СЭ РКК необходимо с позиций системного подхода определять ее структуру не только для штатного функционирования РКК, но и для случаев выполнения задач подготовки и пуска ракет космического назначения (ПП РКН) в условиях экстремальных ситуаций (ЭС). Под ЭС в процессе ПП РКН понимается обстановка, складывающаяся на техническом и стартовом комплексах (СК) и прилегающих к ним территориях, характеризующаяся возникновением опасных факторов, представляющих угрозу для здоровья и жизни людей, нанесения вреда окружающей среде или угрозу срыва решения задач своевременной подготовки и пуска РКН.

Для формирования структуры робототехнических комплексов (РТК) ликвидации ЭС с целью безопасного и своевременного выполнения задач ПП РКН [1–3] в условиях ЭС необходимо определить характеристики ЭС, оценить вероятность их наступления на объектах РКК по показателям надежности и безопасности оборудования и статистическим показателям возникновения природных чрезвычайных ситуаций для региона, в котором осуществляется эксплуатация РКК, определить пространственно-временные характеристики областей ЭС по известным массо-энергетическим характеристикам объектов РКК, инициирующих возникновение ЭС. Целью работы является разработка комплекса моделей оценивания характеристик ЭС и определения состава РТК ликвидации ЭС, обеспечивающего своевременное и безопасное выполнение задач ПП РКН в условиях ЭС.

Структура комплекса моделей обнаружения и ликвидации экстремальных ситуаций

Этапы формирования структуры РТК ОЛ ЭС, под которой понимается количественный и качественный состав РТС и порядок их взаимодействия при ОЛ ЭС, представлены на рис. 1.

Комплекс моделей, представленный на рис. 2, направлен на решение следующих задач, обеспечивающих формирование структуры РТК:

- расчет вероятности возникновения ЭС в процессе ПП РКН;
- расчет площади (радиуса) действия опасных факторов ЭС;
- расчет области воздействия манипуляционных подсистем РТС, входящих в состав РТК;
- расчет минимально потребного состава РТК для различных способов применения;
- расчет вероятности выполнения задач по ликвидации ЭС в процессе ПП РКН с применением РТК.

Многовариантность развития ЭС, значительная неопределенность их характеристик предполагают применение сценарных моделей, определяющих возможные варианты будущей обстановки исходя из структурно-функционального анализа РКК. Для построения сценарных моделей определяются последствия отказов каждого элемента РКК, ошибок эксплуатирующего персонала (ЭП), а также совместные отказы элементов и ошибки ЭП (инициирующие события) [4]. Затем определяются предельные значения параметров системы, выход за которые приводит к возникновению аварийных ситуаций (последствия инициирующих событий). Далее рассматриваются возможные варианты развития аварийных ситуаций (эскалация), а также предполагаемый ущерб (рис.3). Наиболее опасный период в процессе ПП РКН наступает после начала заправки РКН компонентами ракетного топлива (КРТ), в связи с чем на рис.3 представлены сценарии развития ЭС для системы заправки.

Модель расчета вероятности возникновения ЭС в процессе ПП РКН

В качестве инициирующих событий ЭС выступают отказы технических средств СЭ, отказы средств защиты, ошибки ЭП, а также негативное воздействие внешней среды, вероятность возникновения которых может быть определена по формуле:

$$P_{ЭС_i}(\tilde{t}) = \left[\prod_{i=1}^n (1 - P_{\text{техн}}(t_{\text{оп}})) \cdot \prod_{j=1}^m (1 - P_{\text{опер}}(t_j)) \cdot \prod_{k=1}^y (1 - P_{\text{защ}}(t_k)) \right] \cdot P_{\text{ОФ}}^{\text{ВнСр}}, \quad (1)$$

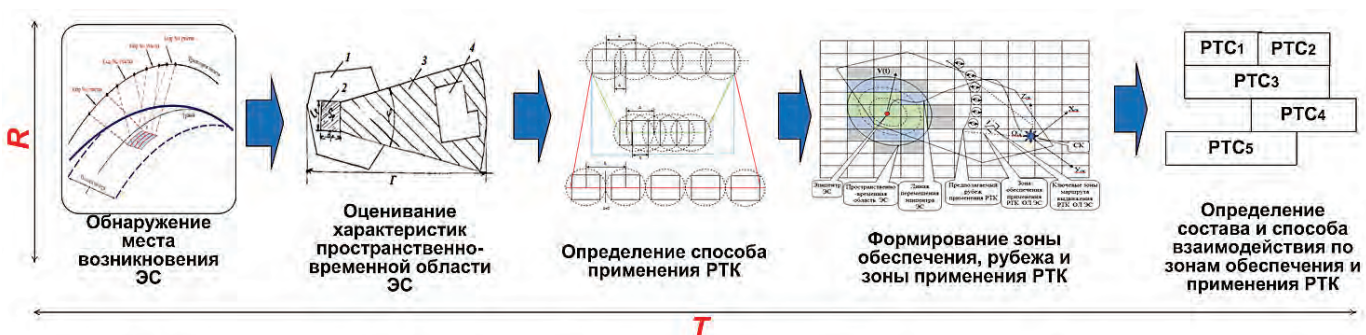


Рис. 1. Этапы формирования структуры РТК ОЛ ЭС

где $P_{\text{техн}}(t_{\text{оп}})$ — вероятность безотказной работы i -го технического средства при выполнении операции ПП РКН;

n — количество технических средств, задействованных в операциях ПП РКН;

$P_{\text{опер}}(t_j)$ — вероятность безошибочного выполнения оператором алгоритмов операций ПП РКН за время t_j , не превышающее допустимое (нормативное) время $t_{\text{доп}}$;

μ — количество алгоритмов ПП РКН, в которых задействован оператор;

$P_{\text{защ}}(t)$ — вероятность безотказной работы средств защиты;

k — количество защитных средств, реализованных в процессе ПП РКН;

$P_{\text{ОФ}}^{\text{ВнСр}}$ — вероятность возникновения ОФ в результате воздействия внешней среды, в том числе противника.

Вероятность негативного воздействия внешней среды определяется через статистические показатели возникновения чрезвычайных ситуаций для региона, в котором осуществляется эксплуатация РКК.

В результате возникновения аварийных ситуаций (АС) на объектах РКК с точки зрения воздействия на людей



Рис. 2. Комплекс моделей оценивания характеристик ЭС и определения состава РТК ликвидации ЭС

Иницирующее событие (причина)	Последствия	Эскалация	Ущерб
Отказ ЭК7 (открыт), ЭК4 (БР) и ЭК3 (МР) (закрыт)	Превышение давления ДД3 > 50кПа в теч. 5 сек.	Взрыв автозаправщика	Загрязнение окружающей среды, пожар
Отказ ЭК4 (БР), ЭК2 и ЭК3 (МР) (закрыт), насос НЛ1 включен	Превышение давления ДД2 > 980кПа или ДД4 > 650кПа в теч. 10с	Взрыв заправочных магистралей	Загрязнение окружающей среды, пожар
Отказ ЭК7 (закрыт), ЭК6 (открыт), насос НЛ1 включен	Понижение давления ДД3 < 10кПа в теч. 5с.	Деформация автозаправщика	Загрязнение окружающей среды, пожар
Отказ ЗК (открыт), СИУЗ, насос НЛ1 включен	Достижение аварийного уровня заправки	Взрыв блока «И»	Загрязнение окружающей среды, пожар
Отказ ЗК (закрыт), насос НЛ1 включен	Понижение давления ДД4 < 30кПа в теч. 10с	Утечка керосина через стыковочные разъемы	Загрязнение окружающей среды, пожар

Рис. 3. Сценарии развития ЭС для системы заправки

и окружающую среду возможны следующие основные последствия их развития:

- раздельные проливы КРТ или аварийные выбросы КРТ;
- пожары вследствие совместных проливов КРТ;
- взрывы элементов РКК на старте, в процессе полета

РКН, а также при падении аварийного РКН в позиционном районе части запуска космического аппарата (КА).

В перечисленных случаях возникновение АС, как правило, влечет за собой массивное воздействие на различные средообразующие компоненты: токсичное загрязнение атмосферы, почв, поверхностных и подземных вод токсичными химическими веществами, механическое загрязнение поверхности земли и т. д.

Модель расчета площади (радиуса) действия опасных факторов ЭС

При формировании структуры РТК необходимо обеспечить полное покрытие областями действия манипуляционных подсистем робототехнических систем (РТС) области ЭС для минимизации ущерба от действия опасных факторов окружающей среде и людям [5–6]. Для решения данной задачи предлагается применить геометрическую аппроксимацию, которая заключается в замене сложных геометрических форм простыми фигурами. Область ЭС, в общем случае, представляет собой неправильную геометрическую фигуру.

В связи с тем, что существуют объективные сложности с моделированием поверхностей и границ областей ЭС, предлагается оценивать их параметры по характеристикам объекта, выступающего в качестве источника опасности.

При ПП РКН на СК возможны проливы КРТ с последующим их возгоранием или без возгорания. Параметры области ЭС в этом случае будут определяться запасами КРТ. При разгерметизации баков с КРТ образуется облако, масса которого в зависимости от времени t определяется по следующей формуле [7]:

$$M_{\text{обл}}(t) = M_{\Gamma}(t) + M_{\text{ж}}(t) + M_{\text{и}}(t), \quad (2)$$

где $M_{\text{обл}}(t)$ — масса КРТ в первичном облаке;

$M_{\Gamma}(t)$ — масса КРТ, переходящая в первичное облако в виде газа при мгновенном вскипании КРТ;

$M_{\text{ж}}(t)$ — масса КРТ, переходящая в первичное облако в виде аэрозоля;

$M_{\text{и}}(t)$ — масса КРТ, переходящая в первичное облако в виде газа при кипении пролива.

Для частного случая пролива КРТ на поверхность СК, площадь поверхности пролива $S_{\text{прол}}$ при их свободном растекании определяется по формуле [7]:

$$S_{\text{прол}} = \frac{\pi \left(\sqrt[3]{25,5 \frac{M_{\text{КРТ}} - M_{\Gamma} - M_{\text{ж}}}{\rho_{\text{КРТ}}}} \right)^2}{4} \quad (3)$$

где $M_{\text{КРТ}}$ — масса КРТ в РКН на момент аварии;

$\rho_{\text{КРТ}}$ — плотность КРТ.

При детонации баков РКН радиус первичного облака КРТ $R_{\text{обл}}$ определяется по формуле [7]:

$$R_{\text{обл}}(t) = \sqrt[3]{\frac{3M_{\text{обл}}(t)}{4\pi\rho_{\text{выб}}}} \quad (4)$$

где $\rho_{\text{выб}}$ — плотность КРТ в первичном облаке в начальный момент времени.

Радиус вторичного облака $R_{\text{обл}2}$, образующегося при испарении КРТ из пролива определяется по формуле [7]:

$$R_{\text{обл}2} = 0,56\sqrt{S_{\text{прол}}}, \quad (5)$$

Для определения радиуса действия ударной волны, сформировавшейся в результате взрыва топливоздушная смеси, можно воспользоваться приближенной формулой [7]

$$R = \frac{K\sqrt[3]{W}}{\sqrt[6]{1 + \left(\frac{3180}{W}\right)^2}}, \quad (6)$$

где коэффициент K категории повреждения определяется по справочным данным, а W — тротильный эквивалент взрыва, определяемый из соотношения

$$W = \frac{0,4M_{\Gamma}(t)q_{\Gamma}}{4,05 \cdot 10^6} = \frac{0,4(M_{\text{обл}}(t) - M_{\text{ж}}(t) - M_{\text{и}}(t))q_{\Gamma}}{4,05 \cdot 10^6}, \quad (7)$$

где q_{Γ} — теплота сгорания газа, величина которой определяется по справочным данным или оценивается по формуле [7]

$$q_{\Gamma} = 44 \cdot \beta, \quad (8)$$

где β — табличное значение корректировочного коэффициента для наиболее распространенных взрывоопасных веществ.

Модель расчета области воздействия манипуляционных подсистем РТС, входящих в состав РТК

Параметры аппроксимирующих фигур предлагается определять по характеристикам РТС, а именно зоной воздействия (ЗВ) манипуляционной подсистемы (МП) [8]. Параметры аппроксимирующей трапеции (рис. 4) определяются шириной действия РТС L_1 с учетом расстояния до очага опасного фактора R_p и угла поворота α , на который необходимо поворачивать манипулятор для обеспечения максимальной ширины действия РТС, и высотой B :

$$L_1 = 2\sqrt{R_{\text{ДМ}}^2 - R_p^2}, B = R_{\text{ДМ}} - R_p, \quad (9)$$

где $R_{\text{ДМ}}$ — дальность действия РТС (дальность водяной пушки, радиус зоны обслуживания манипулятора и т. д.);

R_p — расстояние от рубежа применения РТС до области ЭС.

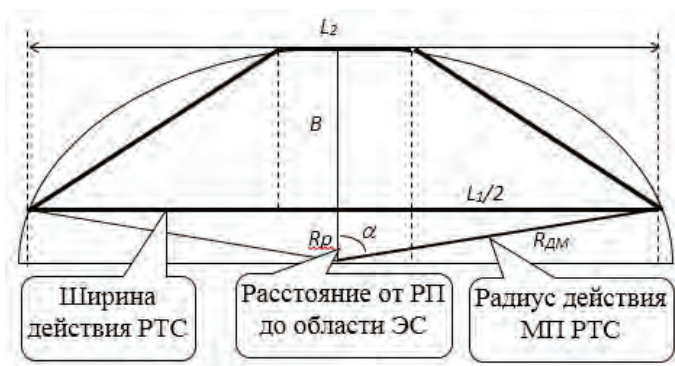


Рис. 4. Определение параметров аппроксимирующего прямоугольника по характеристикам РТС

Угол поворота МП определяется по следующему выражению

$$\alpha = \arccos\left(\frac{R_p}{R_{DM}}\right) \quad (10)$$

Длина второго основания L_2 определяется по следующему выражению

$$\begin{aligned} L_2 &= L_1 - 2(R_{DM} - R_p)\sin\alpha = \\ &= 2\sqrt{R_{DM}^2 - R_p^2} - 2(R_{DM} - R_p)\sin\alpha \end{aligned} \quad (11)$$

Площадь ЗВ МП РТС будет приблизительно равна площади аппроксимирующей трапеции

$$\begin{aligned} S_{РТС} &= \frac{1}{2}(L_1 + L_2)B = \\ &= (2\sqrt{R_{DM}^2 - R_p^2} - (R_{DM} - R_p)\sin\alpha)(R_{DM} - R_p). \end{aligned} \quad (12)$$

При динамическом способе применения РТС аппроксимирующая область будет представлять собой параллелепипед с шириной L_1 , высотой B , а глубина параллелепипеда (длина полосы покрытия РТС) определяется характеристиками локомotionной и энергетической подсистем РТС.

Модель расчета минимально потребного состава РТК для различных способов применения

Для определения минимально потребного количества РТС $N_{РТС}$ в составе РТК необходимо рассчитать минимально избыточное число слоев параллельных основной плоскости $O_{СК} X_{СК} Y_{СК}$ (горизонтальных слоев), которое определяется зависимостью

$$M_z = E[(Z_{max} - Z_{min}) / a] + 1, \quad (13)$$

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

a — высота действия МП РТС.

Одной из кинематических характеристик применения РТК является его зона сплошного воздействия, под кото-

рой понимается геометрическое пространство, образуемое пересекающимися ЗВ МП РТС. Для каждого i -го слоя число рядов зон сплошного воздействия МП РТК вдоль оси $Y_{СК}$ вычисляется по формуле

$$M_{z,y} = E[(Y_{z,max} - Y_{z,min}) / L] + 1, \quad i = 1, \dots, M_z, \quad (14)$$

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

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

$$\begin{aligned} M_{z,y,x} &= E[(X_{zyj,max} - X_{zyj,min}) / B] + 1, \\ i &= 1, \dots, M_z, \quad j = 1, \dots, M_{z,y}, \end{aligned} \quad (15)$$

где X_{zymax} , X_{zymin} — максимальная и минимальная координата области ЭС для zy -го ряда.

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

$$N_{РТС} = \sum_{i=1}^{M_z} \sum_{j=1}^{M_{z,y}} M_{z,y,j,x}. \quad (16)$$

Модель расчета вероятности выполнения задач по ликвидации ЭС в процессе ПП РКН с применением РТК

В качестве способов применения РТС следует выделить в зависимости от количества применяемых РТС одиночное и групповое, а также в зависимости от расстояния между центрами РТС без разрывом и с разрывами в области покрытия. С учетом рассчитанного количества РТС для различных способов применения может быть определено время, в течение которого обеспечивается сплошное покрытие области ЭС ЗВ МП РТС. Формирование структуры РТК ликвидации ЭС направлено на решение двуединой задачи: гарантированной ликвидации ЭС и минимизации времени проведения операций по ликвидации ЭС. В связи с этим в качестве показателя результативности применения РТК для ликвидации ЭС предлагается вероятность ликвидации ЭС за требуемый интервал времени:

$$P_{ликвЭС}(t_{оп}) = \frac{\sum_{j=1}^n V_{РТС}^{ЗВМП}}{V_{ЭС}} K_{Г}^{РТК} P_{РТК}(t_{оп}), \quad (17)$$

$$\text{где } V_{ЭС} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \lambda \Delta V_{ijk},$$

$$\lambda = \begin{cases} 0, & \text{если } ijk\text{-й куб не используется} \\ & \text{в аппроксимации области ЭС} \\ 1, & \text{если } ijk\text{-й куб используется} \\ & \text{в аппроксимации области ЭС} \end{cases}$$

$$V_{\text{РТК}} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \lambda_{\text{П}} \Delta V_{ijk},$$

$$\lambda_{\text{П}} = \begin{cases} 0, & \text{если } ijk\text{-й куб не покрыт} \\ & \text{ЗВ МП РТС} \\ 1, & \text{если } ijk\text{-й куб покрыт} \\ & \text{ЗВ МП РТС} \end{cases}$$

Работоспособность РТК следует оценивать исходя из решения целевой задачи, а именно обеспечения покрытия заданной области ЭС

$$P_{\text{РТК}}(t_{\text{он}}) = \begin{cases} \prod_{i=1}^{N_{\text{РТС}}} P_{\text{РТС}i}(t_{\text{он}}) & \text{при однократном} \\ \text{покрытии аппроксимирующей} \\ \text{области ЭС совокупностью РТС} \\ 1 - \prod_{i=1}^{N_{\text{РТС}}} (1 - P_{\text{РТС}i}(t_{\text{он}})) & \text{при многократном} \\ \text{покрытии аппроксимирующей} \\ \text{области ЭС совокупностью РТС} \end{cases} \quad (18)$$

Вероятность безотказной работы РТС $P_{\text{РТС}}$ определяется безотказностью технических средств $P_{\text{ТС}}$, безошибочностью программного обеспечения $P_{\text{ПО}}$ и надежностью (устойчивостью) канала связи $P_{\text{КС}}$:

$$P_{\text{РТС}} = \langle P_{\text{ТС}}, P_{\text{ПО}}, P_{\text{КС}} \rangle.$$

Для получения интегрального показателя надежности РТС может использоваться метод главного показателя, линейная (аддитивная) свертка (метод взвешенной суммы), мультипликативная свертка. Первый метод не подходит, т.к. среди показателей нет главного, существенно отличающегося от остальных. Линейная свертка не подходит, т.к. низкая оценка по одному показателю не может быть компенсирована высокой оценкой по другим. Поэтому для оценки эффективности выбрана мультипликативная свертка. В данном случае интегральный показатель надежности РТС рассчитывается по формуле [9]:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i^{f_i}, \sum_{i=1}^n f_i = 1.$$

где n — количество показателей, $n = 3$;
 f_i — вес i -го показателя.

Приведенные математические модели подтверждают необходимость использования зонного подхода к планированию применения РТС в составе РТК ликвидации ЭС для обеспечения требуемой вероятности ликвидации ЭС за минимальный интервал времени.

Пример формирования структуры РТК

ликвидации пожара при подготовке и пуске РКН

Наиболее часто встречающимися ЭС при подготовке и пуске РКН являются проливы КРТ, которые в случае появления источника воспламенения в месте пролива могут привести к пожару и взрыву РКН на старте. Вероятность возникновения пожара на СК оценивается с помощью метода анализа деревьев отказов [10], который позволяет проследить возможные пути возникновения опасных событий и оценить вероятности возникновения возможных событий.

Для возникновения пожара необходимо одновременное возникновение трех событий: пролив горячего, наличие кислорода, присутствующего в воздушной среде, и появление источника воспламенения. Выполнение одновременности появления этих событий при построении дерева отказов определяется применением логической операции «И». Предположим, что пролив горячего может произойти вследствие разгерметизации резервуара, магистралей или средств управления (насосов, вентилялей, клапанов) и вероятностей наступления этих событий (в данном случае первичных отказов) соответственно при моделировании принимались равными 0,02; 0,09 и 0,1. Для пролива горячего достаточно реализации любого из названных событий, что отражается в дереве отказов соединением этих событий с событием «Пролив горячего» посредством логической операции «ИЛИ».

Предположим также, что источниками воспламенения в рассматриваемом случае могут быть электрические искры, электрические разряды статического электричества или искры, образованные механическим путем. Вероятности их появления при моделировании принимались равными 0,2; 0,05 и 0,1 соответственно. Для воспламенения горячего достаточно появления одного из источников. Поэтому события, изображающие их, как и в предыдущем случае, соединены с событием «Появление источника воспламенения» посредством логической операции «ИЛИ». Количественное оценивание вероятности возникновения пожара выполняется снизу вверх. Зная вероятности возникновения первичных отказов (приведены в кружках на рис. 5), можно определить вероятности событий, появление которых зависит от возникновения одного из первичных отказов.

Развитие событий после возникновения пожара будет зависеть от того, как будет функционировать автоматическая система пожаротушения (система обеспечения безопасности), составными частями которой являются подсистемы обнаружения пожара, оповещения о пожаре и тушения пожара. Дерево событий, характеризующее возможные варианты развития событий после возникновения пожара и их вероятности, полученные в результате моделирования, представлены на рис. 6.

По характеристикам РКН «Союз-2» для наиболее критического периода полета (0÷40 с), характеризуемого значительными запасами топлива и незначительной высотой полета, по формулам (2–5) рассчитаны характеристики областей ЭС, представленные в табл. 1. В качестве исходных данных для моделирования принимались:

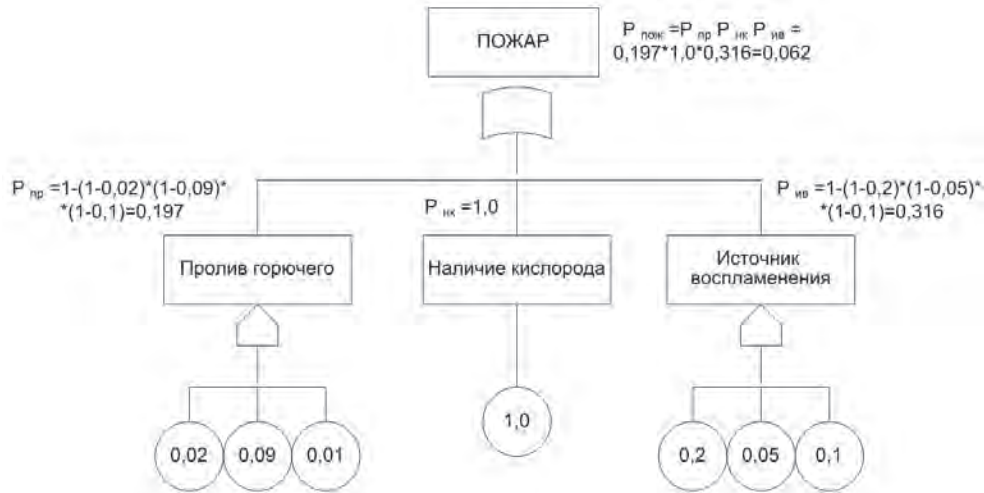


Рис. 5. Дерево отказов для события «Пожар»

Иницирующее событие (причина)	Возможные последствия развития иницирующего события			Результатирующие события, характеризующие возможный ущерб	№ сценария
	Система обнаружения пожара $S_1 = \{s_{1,рас}, s_{1,расс}\}$	Система оповещения о пожаре $S_2 = \{s_{2,рас}, s_{2,расс}\}$	Система тушения пожара $S_3 = \{s_{3,рас}, s_{3,расс}\}$		
Пожар $P_{пож} = 0,062$	$P(s_{1,рас}) = P_{оп} = 0,9$ $P(s_{1,расс}) = P_{обн} = 0,8$	$P(s_{2,рас}) = P_{от} = 0,85$ $P(s_{2,расс}) = P_{обн} = 0,8$	$P(s_{3,рас}) = P_T = 0,85$ $s_{3,рас}$	Ограниченный ущерб оборудованию, персонал не пострадал. $p_1 = P_{пож} \cdot P_{обн} \cdot P_{от} = 0,038$	№1
			$s_{3,рас} \cup s_{3,расс}$	Существенный ущерб оборудованию, персонал не пострадал. $p_1 = P_{пож} \cdot P_{обн} \cdot P_{от} (1 - p_T) = 0,007$	№2
			$s_{3,расс}$	Ограниченный ущерб оборудованию, персонал подвергся воздействию. $p_1 = P_{пож} \cdot P_{обн} (1 - P_{от}) \cdot P_T = 0,009$	№3
			$s_{3,рас} \cup s_{3,расс}$	Существенный ущерб оборудованию, возможна гибель персонала. $p_1 = P_{пож} \cdot P_{обн} (1 - P_{от}) (1 - p_T) = 0,002$	№4
			$s_{3,расс}$	Существенный ущерб оборудованию, возможна гибель персонала. $p_1 = P_{пож} (1 - P_{обн}) = 0,006$	№5

Рис. 6. Сценарии развития событий после возникновения пожара

Таблица 1

Пространственные характеристики в случае возникновения ЭС без возгорания КРТ на начальном этапе полета РКН

время полета, с	Масса горючего, М, кг	$M_{Г}$, кг	$M-M_{Г}$, кг	$M_{ж}$, кг	$M_{И}$, кг	$M_{обл}$, кг	$R_{обл}$, м	$S_{пол}$, м ²	$R_{обл2}$, м
0	78071	30606	47465	30606	16860	61211	6	52	4
10	73463	28799	44664	28799	15865	57599	6	50	4
20	68856	26993	41863	26993	14870	53986	5	48	4
30	64248	25187	39061	25187	13875	50373	5	46	4
40	59640	23380	36260	23380	12879	46761	5	43	4

- масса окислителя бокового блока — 27903 кг;
- масса окислителя центрального блока — 63834 кг;
- масса окислителя третьей ступени — 27903 кг;
- масса горючего бокового блока — 11259 кг;
- масса горючего центрального блока — 26326 кг;
- масса горючего третьей ступени — 6650 кг;
- тяга маршевого двигателя бокового блока — 85600 тс;
- тяга маршевого двигателя центрального блока — 80800 тс;
- плотность керосина — 800 кг/м³.

Для случая возгорания КРТ по формулам (6–8) определены следующие значения радиусов действия ударной волны для зоны полного разрушения зданий R_1 ($K = 3,8$), для зоны тяжелых повреждений R_2 ($K = 5,6$) и для зоны средних повреждений R_3 ($K = 9,6$), которые представлены в табл. 2.

Требуется определить минимально потребное число РТС в составе РТК для области ЭС в виде круга радиуса $R_{ЭС} = 300$ м, что соответствует ЭС в случае взрыва РКН на старте. Для ликвидации последствий ЭС применим РТС пожаротушения, оборудованные защитой от огня, которая позволяет работать в 10–15 метрах от очага пожара, расчётные значения размеров аппроксимирующих прямоугольников, вычисленные по формулам (9–12) представлены в табл. 3.

При расчете минимально потребного числа РТС будем считать, что минимально избыточное число «слоев», параллельных основной плоскости $O_{ск} X_{ск} Y_{ск}$ (горизонтальных слоев) — $M_z = 1$.

Расчетные данные, полученные по характеристикам РТС (табл. 3) и формулам (13–16), представлены в табл. 4.

Данное количество РТС необходимо, если каждое РТС будет покрывать только одну аппроксимирующую область. С учетом энергетического и материального ресурсов РТС пожаротушения обеспечивают покрытие полосы аппроксимирующей области вдоль оси $O_{ск} X_{ск}$, в связи с чем минимально потребное число РТС определяется столбцом M_{zvi} . Тушение пожара возможно как сплошным воздействием по фронту ЭС, так и разбиением на участки для снижения интенсивности и последующего окончательного тушения. В первом случае РТС будут действовать без разрывом воздействия по области ЭС, а во втором — с разрывами в области воздействия.

Таблица 2

Расчетные значения радиусов действия ударной волны в случае возникновения ЭС на начальном этапе полета РКН для различных зон повреждений

Время полета, с	$M_{Г}$, кг	W, МДж	R_1 , м	R_2 , м	R_3 , м
0	253152,29	129979,95	192,47	283,64	486,24
10	238211,17	122308,50	188,61	277,94	476,48
20	223270,06	114637,05	184,57	272,00	466,29
30	208328,94	106965,60	180,36	265,79	455,64
40	193387,83	99294,15	175,93	259,27	444,47

Таблица 3

Расчетные значения аппроксимирующих прямоугольников для РТС пожаротушения

Тип РТС	$R_{дм}$, м	R_p , м	L_1 , м	B, м	α	L_2 , м	$S_{рте}$, м ²
Ель-10	90	15	177,5	75,00	80,4	29,5	7763,7
Кедр	60	15	116,2	45,00	75,6	29,0	3267,2
Луф-60	60	15	116,2	45,00	75,6	29,0	3267,2
Уран-14	50	15	95,4	35,00	72,6	28,6	2169,8

Таблица 4

Расчетные значения минимально потребного числа РТС пожаротушения

Тип РТС	$R_{ЭС}$, м	$Y_{zimax} - Y_{zimin}$, м	M_{zvi}	$X_{zyjmax} - X_{zyjmin}$, м	M_{zyj}	$N_{РТС}$
Ель-10	300	600	4	600	9	36
Кедр	300	600	6	600	14	84
Луф-60	300	600	6	600	14	84
Уран-14	300	600	7	600	18	126

Для рассматриваемого примера минимально потребным для сплошного покрытия по фронту области пожара является структура РТК в составе семи РТС пожаротушения «Уран-14», принятых на вооружение в ВС РФ. При подключении к внешнему водоисточнику данный состав РТК обеспечит сплошное покрытие области ЭС за 36 минут (0,6 часа). Вероятность безотказной работы РТС за данный интервал времени равна $P_{\text{РТС}}(t = 0,6 \text{ ч}) = 0,994$. Вероятность ликвидации ЭС РТК в составе семи РТС пожаротушения «Уран-14» при $K_{\text{Г}}^{\text{РТК}} = 0,9$ определяется по формулам (17–18) $P_{\text{ликвЭС}}(t_{\text{оп}}) = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,994^7 = 0,86$.

Однако низкая вероятность возникновения ЭС предопределяет не частое применение РТС, которые требуют регулярного технического обслуживания и с экономической точки зрения не целесообразно содержать парк РТС в таком количестве, в связи с чем необходимо обеспечить оптимальное сочетание штатных технических средств и РТС пожаротушения. Исходя из представленных расчетов областей ЭС, расположения опасных объектов на СК и уровня опасности проводимых работ по ликвидации ЭС в зависимости от расстояния до эпицентра ЭС оптимальной является структура из трех РТС пожаротушения, действующих вблизи источников опасности, и шести автомобилей пожаротушения, действующих на удалении от эпицентра ЭС в зонах с низким уровнем опасности. Данная структура аварийно-спасательного формирования обеспечивает оптимальное время покрытия заданной области за счет мобильности автомобилей пожаротушения и безопасность тушения пожара за счет комплексного применения РТС пожаротушения в зонах наибольшей опасности.

Заключение

Предложенный комплекс моделей позволяет оценить вероятность наступления опасных событий на объектах РКК по их показателям надежности, определить пространственно-временные характеристики областей ЭС по известным массово-энергетическим характеристикам объектов РКК, инициирующих возникновение ЭС, а также определить оптимальный состав сил и средств аварийно-спасательного формирования для ликвидации ЭС с требуемыми показателями безопасности за минимально возможное время. Результаты проведенного моделирования показали, что решать задачи по ликвидации ЭС только с применением РТС в настоящее время не целесообразно из-за объективно низких характеристик РТС, что может быть компенсировано разработкой тактики совместного применения организационно-технических и робототехнических систем. Для повышения эффективности ликвидации ЭС требуется разработка метода синтеза зон применения организационно-технических и робототехнических систем аварийно-спасательного формирования по критерию опасности выполняемых операций.

Литература

1. *Буренин А.Н., Легков К.Е.* Современные инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления: монография. М.: Медиа-Паблишер, 2015. 348 с.
2. *Тарасов А.Г., Минаков Е.П.* Робототехнические комплексы автоматизированных систем управления подготовкой и пуском ракет космического назначения и показатели эффективности их применения // *Промышленные АСУ и контроллеры.* 2015. № 6. С. 19–24.
3. *Легков К.Е., Ледянкин И.А.* Метод оценивания качества функционирования инфокоммуникационных систем специального назначения // *Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции «Расплетинские чтения».* Москва, 2014. С. 22–30.
4. *Легков К.Е., Ледянкин И.А.* Методика оценивания качества функционирования инфокоммуникационных систем специального назначения // *Вестник воздушно-космической обороны.* 2015. № 4 (8). С. 76–79.
5. *Минаков Е.П., Тарасов А.Г., Онов В.А.* Обоснование необходимых условий и вариантов применения робототехнических систем и комплексов ликвидации экстремальных ситуаций // *Проблемы управления рисками в техносфере.* 2016. № 3 (39). С. 17–25.
6. *Буренин А.Н., Легков К.Е.* Вопросы управления структурой инфокоммуникационных сетей специального назначения // *Информация и космос.* 2015. № 3. С. 23–28.
7. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: сборник документов. Серия 27. Выпуск 2 / Колл. авт. 3-е изд., испр. и доп. М.: Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности, 2010. 208 с.
8. *Легков К.Е.* Функциональная структура автоматизированных систем управления инфокоммуникационными сетями специального назначения // *Сборник статей по материалам Всероссийской НТК слушателей, курсантов и молодых ученых, посвященной Дню образования войск связи. IV научные чтения имени А.С.Попова «Современное состояние и перспективы развития систем связи и радиотехнического обеспечения в управлении авиацией»* (15 октября, Воронеж). Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. С. 26–28.
9. *Латыпова В.А.* Оценка эффективности процесса обучения при наличии сложных открытых задач с помощью экспертных методов // *Инженерный вестник Дона.* 2016. № 1. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_70_Latypova.pdf_fabe509124.pdf
10. *Белозеров В.А., Тарасов А.Г., Будушкин М.В.* Программный комплекс для расчета показателей надежности и безопасности // *Сборник алгоритмов и программ типовых задач.* Выпуск 26. МО РФ, 2007. С. 212–223.

THE COMPLEX OF MODELS OF CHARACTERISTICS ASSESSMENT OF EXTREME SITUATIONS AND DETERMINE THE COMPOSITION OF A ROBOTICS COMPLEX LIQUIDATION OF EXTREME SITUATIONS IN THE PROCESS OF PREPARING AND LAUNCHING SPACE ROCKETS

Tarasov Anatoly Gennadevich,
 St. Petersburg, Russia, Atol-77@mail.ru

Minakov Evgeny Petrovich,
 St. Petersburg, Russia, ep.minakov12345@mail.ru

ABSTRACT

One of the main tasks of the system operation of rocket-space complexes is providing the required reliability and safety of cosmodrome objects operation. The practice of exploitation of rocket-space complexes indicates the regular occurrence of accidents on the objects of space, sometimes ending in tragedies, and in this connection it is necessary to improve the system of exploitation of rocket-space systems to ensure timely and safe execution of tasks for preparing and launching space rockets in the conditions of extreme situations occurrence. The problem of ensuring safety at hazardous facilities is currently being addressed by the use of robotic systems and complexes. The peculiarity of the preparing and launching space rockets process is strictly regulated end time to "launch window" to launch a spacecraft at a given point of the orbit. In this regard, the use of robotic systems for liquidation of extreme situations in the process of preparing and launching space rockets must ensure not only the safety of the system operation space-rocket complexes, but also the timeliness of the preparation and launch of space rockets. To ensure effective implementation of the preparing and launching space rockets tasks in different terms of the situation it is necessary to develop the model and algorithmic description of the possible normal and abnormal states of functioning of objects of rocket-space complex to estimate the probability of extreme situations occurrence on objects of rocket-space complex for their reliability and security to determine the spatial-temporal characteristics of extreme situations regions on the famous mass-energy characteristics of objects of rocket-space complex, initiating the emergence of extreme situations. Development of complex models for the characterisation of extreme situations and to determine the composition of the robotic complex to resolve extreme situations should be carried out from positions of the system approach, which consists in the consideration of the systems studied in their interrelation and interaction with the environment, based on a combination of logical, linguistic and mathematical models and algorithms, providing processing information in real time of large amounts of measurement information.

Keywords: functional structure; robotics; extreme situation; the security of the system operation.

References

1. Burenin A.N., Legkov K.E. *Sovremennye infokommunikatsionnye sistemy i seti spetsial'nogo naznacheniya. Osnovy postroeniya i upravleniya: Monografiya.* [Modern infocommunication systems and special purpose networks. Basics of creation and control]. Moscow, Media Publisher, 2015. 348 p. (In Russian)
2. Minakov E.P., Tarasov A.G. Robotic systems of automated control systems preparation and launching of a space rocket and indicators of efficiency of their application. *Industrial automation and controllers.* 2015. No. 6. Pp. 19-24. (In Russian)
3. Legkov K.E., Ledyankin I.A. Metod ocenivaniya kachestva funkcionirovaniya infokommunikacionnyh sistem spetsial'nogo naznachenija [Method of assessing the quality of functioning of infocommunication systems of special purpose]. *Sbornik dokladov Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Raspletinskie chtenija»* [Collection of reports of the All-Russian scientific and technical conference "Raspletinsky readings"]. Moscow, 2014. Pp. 22-30. (In Russian)
4. Legkov K.E., Ledyankin I.A. Special purpose infocommunication systems functioning quality estimation technique. *Vestnik vozdušno-kosmicheskoy oborony.* 2015. No. 4 (8). Pp. 76-79. (In Russian)

5. Minakov E.P., Tarasov A.G., Onov V.A. Rationale for the necessary conditions and applications of robotic systems and complexes elimination of extreme situations. *Problemy upravleniya riskami v tehnosfere* [Issues of Risk Management in the Technosphere]. 2016. vol.3 (39). Pp. 17-25. (In Russian)
6. Burenin A.N., Legkov K.E. Problems of special purpose infocommunication network structure management. *Informacija i kosmos* [Information and Space]. 2015. No. 3. Pp. 23-28. (In Russian)
7. *Metodiki otsenki posledstviy avariy na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh: sbornik dokumentov* [Evaluation Methods of Accident Consequences at Hazardous Industrial Units: A Source Book]. Series 27. Vol. 2. 3rd ed., revised and enlarged. Moscow: Research and Development Centre for Problems of Industrial Safety, 2010. 208 p. (In Russian)
8. Legkov K.E. Funktsional'naya struktura avtomatizirovannykh sistem upravleniya infokommunikatsionnymi setyami spetsial'nogo naznacheniya [Functional structure of automated control systems for infocommunication networks of a special purpose]. *Sbornik statey po materialam Vserossiyskoy NTK slushateley, kursantov i molodykh uchenykh, posvyashchenoy Dnyu obrazovaniya voysk svyazi. IV nauchnyye chteniya imeni A.S.Popova « Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya sistem svyazi i radiotekhnicheskogo obespecheniya v upravlenii aviatsiyey»*. [Collection of articles on the materials of the All-Russian STC of listeners, cadets and young scientists dedicated to the Day of the formation of communication troops. IV Scientific readings named after AS Popov "Current state and prospects of development of communication systems and radio engineering support in aviation management" (October 15, Voronezh)]. Voronezh: Voennyj uchebno-nauchnyj centr Voenno-vozdushnyh sil «Voenno-vozdushnaja ordenov Lenina i Oktjabr'skoj Revoljucii, dvazhdy Krasnoznamjonnaja, ordena Kutuzova akademija imeni professora N. E. Zhukovskogo i Ju. A. Gagarina» (g. Voronezh)», 2015. Pp. 26–28. (In Russian)
9. Latypova V. A. A learning efficiency assessment in case of complex open ended assignments using expert methods. *Inženernyj vestnik Dona* (Rus). 2016. No. 1. URL: A learning efficiency assessment in case of complex open ended assignments using expert methods (In Russian)
10. Belozеров V. A., Tarasov A. G., Budushkin M. V. Programmnyy kompleks dlya rascheta pokazateley nadezhnosti i bezopasnosti [Programmatic complex for calculation of reliability and security]. *Sbornik algoritmov i programm tipovykh zadach* [Collection of algorithms and programs typical task]. Issue 26. MO RF. 2007. Pp. 212-223. (In Russian)

Information about authors:

Tarasov A. G., PhD, doctoral student of the Military Space Academy;

Minakov E. P., PhD, Full Professor, professor in department of organizational-technical systems for space purposes of Military Space Academy.

For citation: Tarasov A. G., Minakov E. P. The complex of models of characteristics assessment of extreme situations and determine the composition of a robotics complex liquidation of extreme situations in the process of preparing and launching space rockets space rockets. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 3. Pp. 14-24. (In Russian).



III ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИТ-ФОРУМ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ «Smart Oil & Gas: Цифровая трансформация нефтегазовой индустрии»

14–15 сентября 2017

Историческое здание Управления
городских телеграфов

Санкт-Петербург, Почтамтская ул., д.15

ОРГАНИЗАТОРЫ:

ИТСК



**COMNEWS
CONFERENCES**

Генеральный партнер:



При участии:



Основные темы форума:

- Место нефтегазовой отрасли в государственной программе «Цифровая экономика»
- Международная и федеральная стандартизация технологий Интернета вещей
- Адаптация подходов «Индустрии 4.0» к потребностям нефтегазовой промышленности и российской специфике
- Первые практические результаты работы Государственного банка цифровой геологической информации (ГБЦГИ), сбора и верификации данных для его работы
- ИТ как инструмент обеспечения непрерывности деятельности компании
- Сети 5G и новые телекоммуникационные технологии для повышения эффективности нефтегазовой отрасли
- Экономика цифрового месторождения
- Использование когнитивных технологий в нефтегазовой отрасли
- Big Data и предиктивная аналитика при обслуживании бурового, насосного и производственного оборудования
- Применение технологий виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности в производственных процессах
- Практика внедрения систем усовершенствованного управления технологическими процессами (Advance Process Control)
- Цифровой завод 2.0: управление экономическими параметрами производства и новые требования к безопасности информационных систем
- Использование системы управления бизнес-процессами (Business Process Management) и ее адаптация к требованиям цифровой эпохи (облака, социальное взаимодействие, поддержка мобильных устройств)
- Управление данными и цифровые корпоративные функции
- ИТ-системы на базе технологии low-code
- Real-Time Enterprise: постановка задач с уровня бизнеса, а не технологий
- Перспективы систем искусственного интеллекта в нефтегазовом комплексе: сферы применения и ответственность за принятые решения
- Применение принципа «открытых инноваций» и запуск «цифровых студий» в ВИНК

<http://www.it-vink.ru>

ПРИМЕНЕНИЕ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАСТЕКАНИЮ ТОКА НА ПОЛЕВЫХ УЗЛАХ СВЯЗИ

Алисевиц Евгения Александровна,
к.т.н., доцент Военной академии связи имени
Маршала Советского союза С.М. Буденного,
г. Санкт-Петербург, Россия, ezhilkina@yandex.ru

Гусев Алексей Петрович,
к.т.н., доцент Военной академии связи имени
Маршала Советского союза С.М. Буденного,
г. Санкт-Петербург, Россия, alexeygusew@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В работе рассмотрена задача измерения сопротивления растеканию тока на полевых узлах связи, базирующаяся на известных результатах практики и их теоретического обобщения.

В процессе выполнения должностных и специальных обязанностей одной из основных причин поражения электрическим током личного состава экипажей является замыкание токоведущих частей на землю или на корпуса электрических машин, трансформаторов и других электрических аппаратов и приборов.

Эффективным способом защиты от поражения в электроустановках является защитное заземление, которое заключается в преднамеренном электрическом соединении с заземлителем (контуром) металлических частей электроустановки, нормально изолированных от частей, находящихся под напряжением.

Приведен анализ опыта, основных направлений и целей измерений сопротивления заземляющего устройства, позволяющих оценить соответствие сопротивления заземлителя требованиям эксплуатационного контроля условий электробезопасности на полевых узлах связи.

В области электроэнергетики существует множество вариантов для измерения сопротивления растеканию тока, основная идея которых заключается в том, что через заземляющее устройство проводят измерительный электрический ток, затем определяют значения проводимого тока и электрического потенциала на заземляющем устройстве и вычисляют сопротивление заземляющего устройства по формуле, основанной на законе Ома.

Для решения рассмотренных задач рекомендуется упростить схему измерений за счет того, что исключения внешнего генератора напряжения и вспомогательного токового электрода, а также линии для их соединения, и использовать свойства материалов, обеспечивающих максимальную внешнюю контактную разность потенциалов.

Вариант применения контактной разности потенциалов разнородных материалов при измерении сопротивления растеканию тока базируется на известных результатах практики и их теоретического обобщения.

Изложены предполагаемые результаты от внедрения описываемого способа, а именно благодаря использованию явления возникновения электрохимических потенциалов между разнородными проводниками и применению закона Ома для полной цепи обеспечивается снижение трудоемкости и затрат на измерения сопротивления растеканию тока.

Ключевые слова: измерение сопротивления растеканию тока; вспомогательный потенциальный электрод; контактная разность потенциалов; заземляющее устройство.

Для цитирования: Алисевиц Е. А., Гусев А. П. Применение контактной разности потенциалов разнородных материалов при измерении сопротивления растеканию тока на полевых узлах связи // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 3. С. 26–30.

Обеспечение электробезопасности является важнейшей из практических задач, возникающих при эксплуатации элементов системы электропитания полевых узлов связи.

В связи с тем, что электрические установки на полевых узлах связи, как правило, работают в неблагоприятных условиях (подвергаются воздействию противника, эксплуатируются в пыльной, влажной или агрессивной среде при различных погодных условиях и т.п.), появляется потенциальная возможность разрушения изоляции проводов, образования токопроводящей влажной и пыльной пленки на изоляторах, конденсирования влаги между обмоткой и корпусом электрической машины и, как следствие, появление потенциала на корпусах электроустановок.

Одной из основных причин поражения электрическим током личного состава экипажей при выполнении должностных и специальных обязанностей является замыкание токоведущих частей на землю или на корпуса электрических машин, трансформаторов и других электрических аппаратов и приборов.

Эффективным способом защиты от поражения в электроустановках является защитное заземление, которое заключается в преднамеренном электрическом соединении с заземлителем (контуром) металлических частей электроустановки, нормально изолированных от частей, находящихся под напряжением [11].

Действие защитного заземления заключается в том, что оно снижает напряжение между корпусом оборудования, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения.

Основной электрической характеристикой заземлителя или контура заземления является сопротивление растеканию тока.

С целью определения соответствия сопротивления заземляющего устройства установленным нормам обязательной процедурой по окончании установки защитного заземления является измерение исследуемого параметра.

В области электроэнергетики существует множество вариантов для измерения сопротивления растеканию тока [1, 9–10], основная идея которых заключается в том, что через заземляющее устройство проводят измерительный электрический ток, затем определяют значения проводимого тока и электрического потенциала на заземляющем устройстве и вычисляют сопротивление заземляющего устройства по формуле, основанной на законе Ома.

Наиболее распространенным вариантом получения необходимых показателей является измерение сопротивления заземляющего устройства методом амперметра и вольтметра. Схема, поясняющая техническую сущность традиционного способа измерения сопротивления заземляющего устройства представлена на рис. 1.

При выполнении операций измерения сопротивления заземляющего устройства традиционным способом отсоединяют от заземляющего устройства нулевой защитный провод (PE, PEN или N) электрической сети. Затем пропускают через заземляющее устройство и забитый в землю на достаточно большом расстоянии вспомогательный

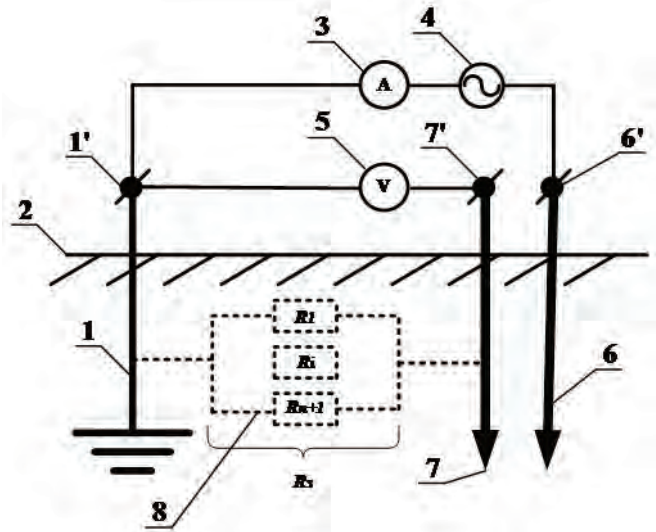


Рис. 1. Традиционный метод измерения земли (вариант): 1 — контур заземления, 2 — фрагмент земной поверхности, 3 — амперметр, 4 — внешний источник измерительного тока, 5 — вольтметр, 6 — вспомогательный токовый электрод, 7 — вспомогательный потенциальный электрод, 8 — искомое сопротивление земли, представленное эквивалентной схемой из множества параллельно соединенных сопротивлений, каждое из которых может быть представлено совокупностью последовательно соединенных сопротивлений, 1', 6', 7' — зажимы

токовый электрод электрический ток от переносного источника измерительного электрического тока (генератора), при этом одновременно снимая показания с последовательно подключенного амперметра. Вслед за этим измеряют вольтметром, включенным между заземляющим устройством и забитым в землю на достаточно большом расстоянии вспомогательным потенциальным электродом, возникшее при этом электрическое напряжение U на заземляющем устройстве. Далее определяют искомое сопротивление заземляющего устройства по следующей известной из закона Ома формуле для неполной цепи, то есть без учета внутреннего сопротивления источника тока:

$$R_7 = \frac{U}{I}$$

где U — напряжение, измеренное вольтметром, В;
 I — ток, измеренный амперметром, А.

Однако наличие существенных погрешностей измерения, обусловленных конечными расстояниями между электродами и заземляющим устройством, вынуждает при оборудовании защитного заземления на подвижном узле связи искать другие методы.

Вариант применения контактной разности потенциалов разнородных материалов при измерении сопротивления растеканию тока базируется на известных результатах практики [2] и их теоретического обобщения [3–4].

При выполнении операций измерения сопротивления заземляющего устройства предлагается отсоединить от заземляющего устройства нулевой защитный провод

(PE, PEN или N) электрической сети, исключить токовый электрод, источник измерительного электрического тока (генератор) и соединительные провода. Затем необходимо выбрать вспомогательный потенциальный электрод, выполненный из материала, обеспечивающего максимальную внешнюю контактную разность потенциалов по отношению к заземлению, выполненному из известного материала. Далее установить вспомогательный потенциальный электрод и с помощью вольтметра с высоким внутренним сопротивлением определить внешнюю контактную разность потенциалов. Следом последовательно соединить заземление, вспомогательный потенциальный электрод, высокоомное нагрузочное сопротивление и амперметр. На заключительном этапе измерить ток, протекающий через нагрузочное сопротивление и вычислить сопротивление растеканию тока, применяя закон Ома для полной цепи.

Вариант схемы, обеспечивающей максимальную контактную разность потенциалов представленной в графической форме на рис. 2.

Известно [5–7], что два разнородных по применяемому материалу проводника, помещенные в электролит, являются гальваническим элементом, параметрами которого являются:

U — разность потенциалов между электродами гальванического элемента;

$R_{вн}$ — внутреннее сопротивление источника, то есть искомое сопротивление земли.

Фрагмент данных о попарной разности потенциалов для разнородных материалов представлен в таблице.

Одним из вариантов пары с максимальной разностью потенциалов является «цинк-медь». При этом разность потенциалов существенно зависит и от качества среды между разнородными по материалам электродами, то есть фрагмента земной поверхности (земли). Землю можно рассматривать как своеобразный электролит с различными свойствами, от которого зависит внутреннее сопротивление рассматриваемого гальванического элемента, то есть искомого сопротивления земли.

Схема, поясняющая предлагаемый способ измерения земли, которая в отличие от традиционного способа не включает внешний генератор напряжения и вспомога-

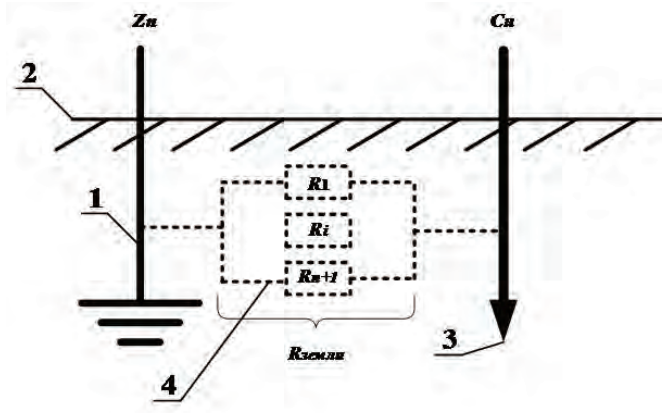


Рис. 2. Схема, обеспечивающая максимальную контактную разность потенциалов (вариант): 1 — контурзаземления, 2 — фрагмент земной поверхности, 3 — вспомогательный потенциальный электрод, 4 — искомое сопротивление земли, представленное эквивалентной схемой из множества параллельно соединенных сопротивлений, каждое из которых может быть представлено совокупностью последовательно соединенных сопротивлений

ныйтоковый электрод, а также линии для их соединения, графически представлена на рис. 3.

На некотором расстоянии от измеряемого заземления монтируется в землю вспомогательный потенциальный электрод из материала, образующего пару по отношению к заземлителю с максимальной разностью потенциалов. В целом разность потенциалов на зажимах зависит от качества земли между двумя электродами (своеобразный электролит: вода и растворимые минералы в различных сочетаниях).

Напряжение на зажимах измеряют вольтметром и запоминают. Параллельно вольтметру на зажимы подключается последовательно цепь из высокоомного нагрузочного сопротивления R_n и амперметра. Измеряют ток, и его значение запоминают. По формуле закона Ома для полной цепи

$$I = \frac{U}{R_n + R_{2=(7)}}$$

Таблица

Электрохимические потенциалы между проводниками

Таблица электрохимических потенциалов (мВ), возникающих между соединенными проводами, клеммами и т. д. (проводниками)							
Металл	Медь и ее сплавы	Алюминий	Сталь мягкая	Нерж. сталь	Цинк	Серебро	Углерод (графит)
Медь и ее сплавы	0						
Алюминий	0,65	0					
Сталь мягкая	0,45	0,20	0				
Нерж.сталь	0,10	0,55	0,35	0			
Цинк	0,85	0,20	0,40	0,75	0		
Серебро	0,25	0,90	0,70	0,35	1,10	0	
Углерод (графит)	0,35	1,00	0,80	0,45	1,20	0,10	0

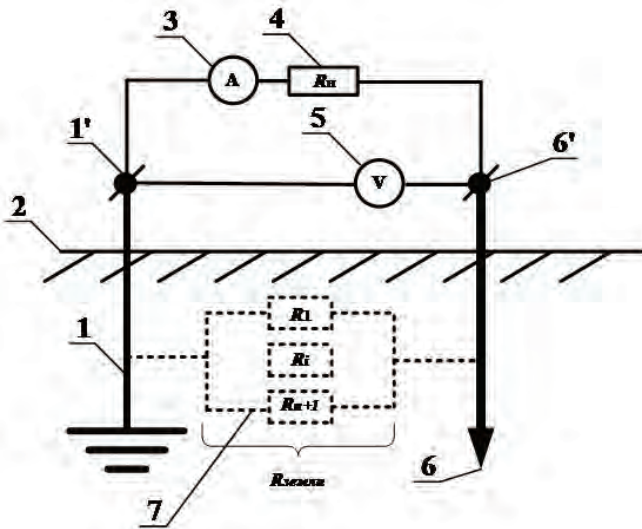


Рис. 3. Предлагаемый метод измерения земли (вариант):

1 — контур заземления, 2 — фрагмент земной поверхности, 3 — амперметр, 4 — высокоомное нагрузочное сопротивление, 5 — вольтметр, 6 — вспомогательный потенциальный электрод, 7 — искомое сопротивление земли, представленное эквивалентной схемой из множества параллельно соединенных сопротивлений, каждое из которых может быть представлено совокупностью последовательно соединенных сопротивлений, 1', 6' — зажимы

Путем математического преобразования получаем выражение для $R_{\text{вн}(3)}$ (внутреннее сопротивление гальванического элемента, то есть сопротивление земли R_3)

$$R_{2-(7)} = \frac{U}{I} - R_4.$$

В выражение подставляют запомненные значения U , I , R_4 и рассчитывают внутреннее сопротивление гальванической пары, то есть полное сопротивление заземления $R_{\text{вн}(3)}$. При этом сопротивление земли $R_{\text{вн}(3)}$ представлено эквивалентной схемой из множества параллельно соединенных сопротивлений (R_1 , R_2 , R_{n+1}), каждое из которых может быть представлено совокупностью последовательно соединенных сопротивлений.

Таким образом, благодаря использованию явления возникновения электрохимических потенциалов между разнородными проводниками и применению закона Ома для полной цепи обеспечивается снижение трудоемкости и затрат на измерения сопротивления растеканию тока [8].

Литература

1. Коструба С. И. Измерение электрических параметров земли и заземляющих устройств: монография. М.: Энергоатомиздат, 1983. 166 с.
2. Материалы проводников и гальваническая электрохимическая коррозия. URL: <http://meandr.org/archives/24328>. (дата обращения 15.01.2016).
3. Про разность потенциалов, электродвижущую силу и напряжение. URL: <http://electricalschool.info/main/390-pro-gaznost-potencialov.html>, (дата обращения 15.01.2016)
4. Типы химических источников энергии. URL: <http://fazaa.ru/uroki-elektrotexniki/ximicheskie-istochniki-elektricheskoy-energii.html>, (дата обращения 15.01.2016).
5. Гальванические элементы. URL: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/914.html>, (дата обращения 15.01.2016).
6. Еремин В. В., Каргов С. И., Успенская И. А., Кузменко Н. Е., Лунин В. В. Основы физической химии. Теория и задачи. М.: Химиздат, 2005. 480 с.
7. Гальванические элементы и батареи // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. И 4 доп.). СПб., 1890–1907.
8. Патент РФ № 2617563 Способ измерения сопротивления растеканию тока / Гусев А. П., Стародубцев Г. Ю., Стародубцев П. Ю., Стародубцев Ю. И., Сорокин М. А., Осипов П. А. Заявл. 16.11.2015. Оpubл. 25.04.2017. Бюл. № 12.
9. Патент РФ № 2321009. Способ и устройство для измерения сопротивления заземлителя / Коструба С. И., Халин Е. В., Стребков Д. С. Заявл. 18.10.2006. Оpubл. 27.03.08. Бюл. № 9.
10. Патент РФ № 2461012. Способ измерения сопротивления заземляющего устройства при электроснабжении по кабельной линии / Истомин Ю. О. Заявл. 06.04.2011. Оpubл. 10.09.12. Бюл. № 25. 5 с.
11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. СПб.: ДЕАН, 2012. 304 с.

THE USE OF CONTACT DIFFERENCE OF POTENTIALS DISSIMILAR MATERIALS IN THE MEASUREMENT OF THE RESISTANCE TO CURRENT SPREADING ON FIELD NODES

Evgueniya A. Alisevich,

St. Petersburg, Russia, ezhilkina@yandex.ru

Alexsey P. Gusev,

St. Petersburg, Russia, alexeygusev@mail.ru

ABSTRACT

The paper considers the task of measuring the resistance to current spreading at the field nodes based on the known results of the practice and its theoretical generalizations.

In the process of performance of official and special duties one of the main causes of electric shock and personal composition of the crews is short live parts to ground or the housing of electrical machines, transformers and other electrical equipment and appliances.

Effective way of protection against electric shock in electrical installations is protective earth, which is the intentional electrical connection with the grounding (circuit) the metal parts of the electrical installation, normally isolated from the parts under voltage.

The analysis of experience, the main directions and purposes of measurement of resistance of grounding device, allowing to assess the compliance of the resistance of earthing requirements in the operational control of the electrical conditions at the field sites.

In the field of electricity, there are many options for measuring the resistance to current spreading, the idea of which is that through the grounding device is carried out measuring the electric current, then determine the values held by current and electrical potential in the grounding device and calculate the resistance of the grounding device according to a formula based on Ohm's law.

For solving the considered problems it is recommended to simplify the measurement scheme due to the fact that the exception is external of the generator voltage and the auxiliary current electrode, and lines for their connections, and to use material properties that ensure a maximum external contact potential difference.

The application of the contact potential difference of dissimilar materials when measuring the resistance to current spreading is based on the known results of the practice and its theoretical generalizations.

Set out the expected results from the implementation of the described method, namely, by using the phenomenon of electrochemical potentials between dissimilar conductors and the application of Ohm's law for the complete chain is provided to reduce the complexity and cost of measuring the resistance to current spreading.

Keywords: measuring the resistance to current spreading; auxiliary potential electrode; contact potential difference; grounding the device.

References

1. Kostruba S.I. *Izmerenie ehlektricheskikh parametrov zemli i zazemlyayushchih ustrojstv: Monografiya* [Measurement of electrical parameters of ground and grounding devices: monograph]. Moscow, Ehnergoatomizdat, 1983. 160 p. (In Russian)
2. *Materialy provodnikov i gal'vanicheskaja jelektrohimicheskaja korrozija* [Materials conductors and galvanic electrochemical corrosion]. URL: <http://meandr.org/archives/24328>. (date of access 15.01.2016). (In Russian)
3. *Pro raznost' potencialov, jelektrodvishushhuju silu i naprzazhenie* [About potential difference, electromotive force and voltage]. URL: <http://electricalschool.info/main/390-pro-raznost-potencialov.html>, (date of access 15.01.2016). (In Russian)
4. *Tipy himicheskikh istochnikov jenergii* [Types of chemical energy sources]. URL: <http://fazaa.ru/uroki-elektro-texniki/ximicheskije-istochniki-elektricheskoy-energii.html>, (date of access 15.01.2016). (In Russian)
5. *Gal'vanicheskie jelementy* [Galvanic cells]. URL: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/914.html>, (date of access 15.01.2016). (In Russian)
6. Eremin V.V., Kargov S.I., Uspenskaya I.A., Kuzmenko N.E., Lunin V.V. *Osnovy fizicheskoy himii. Teoriya i zadachi: uchebnoe posobie dlya vuzov* [Fundamentals of physical chemistry. Theory and tasks]. Moscow, Himizdat, 2005. 480 p. (In Russian)
7. *Gal'vanicheskie ehlementy i batarei* [Galvanic cells and batteries]. *Enciklopedicheskij slovar' Brokgauza i Efrona: v 86 t.* [Encyclopedic Dictionary of Brockhaus and Euphron]. Vol. 82. I 4. Saint-Petersburg, 1890-1907. (In Russian)
8. Patent RF 2617563. *Sposob izmereniya soprotivleniya rastekaniyu toka* [Method for measuring current flow resistance]. Gusev A.P., Starodubcev G.Yu., Starodubcev P.Yu., Starodubcev Yu.I., Sorokin M.A., Osipov P.A. Declared 16.11.015. Published 25.04.2017. Bulletin No. 12. 7 p. (In Russian)
9. Patent RF 2321009. *Sposob i ustrojstvo dlya izmereniya soprotivleniya zazemlitelya* [Method and device for measuring the resistance of the earth electrode]. Kostruba S.I., Halin E.V., Strebkov D.S. Declared 18.10.2006. Published 27.03.08. Bulletin No. 9. 4 p. (In Russian)
10. Patent RF 2461012. *Sposob izmereniya soprotivleniya zazemlyayushchego ustrojstva pri ehlektrosnabzhenii po kabel'noj linii* [Method for measuring the resistance of a grounding device for power supply via a cable line]. Istomin Yu.O. Declared 06.04.2011. Published 10.09.12. Bulletin No. 25. 5 p. (In Russian)
11. *Pravila tekhnicheskoy ehkspluatatsii ehlektrostanovok potrebitelej* [Rules for the technical operation of consumer electrical installations]. Saint-Petersburg: DEAN, 2012. 304 p. (In Russian)

Information about authors:

Alisevich E.A., PhD, associate professor of the Military Academy of Communications;
Gusev A.P., PhD, associate professor of the Military Academy of Communications.

For citation: Alisevich E.A., Gusev A.P. The use of contact difference of potentials dissimilar materials in the measurement of the resistance to current spreading on field nodes. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 3. Pp. 26-30. (In Russian)

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАБЛЮДЕНИЯ МЕТОДОМ РЕДУКЦИИ

Моисеев Александр Александрович,

к.т.н., старший научный сотрудник научно-производственного предприятия «Технологические системы радиомониторинга», г. Москва, Россия, slow.coach@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Процесс пассивного радиотехнического наблюдения включает ряд этапов, в частности обнаружение, местоопределение и распознавание наблюдаемых объектов. Эти объекты могут быть комплексными и включать ряд подобъектов – например, радиолокационных станций различных типов и назначения. На этапе обнаружения в этой ситуации оцениваются параметры обнаруженных подобъектов, используемые в дальнейшем для их распознавания. Местоопределение подобъектов позволяет при этом идентифицировать их в составе объекта и тем самым решать задачу его структурного распознавания. В свою очередь, совокупность распознанных объектов с установленным местоположением характеризует наблюдаемое поле. Совокупность параметров наблюдаемых подобъектов образует множество точек многомерного пространства указанных параметров. Задача распознавания в этих условиях сводится к разбиению этого пространства на области решений, соответствующие характеристикам отдельных подобъектов. Возможным методом решения этой задачи является предварительная кластеризация указанного множества точек на этапе обучения без учителя с последующей фиксацией границ областей. Система распознавания сложных объектов реализуется в виде обучаемой нейронной сети, алфавит которой соответствует упомянутым областям решений, а сложные объекты представляют собой слова этого алфавита. Формированию этих слов предшествует географическая привязка подобъектов, позволяющая идентифицировать их как составляющие объекта и осуществляемая методом триангуляции. Оценку параметров подобъектов предлагается проводить методом редукции на основе модели измерения, базирующейся на основном соотношении пассивной локации. Настройка параметров модели, интерпретируемых как параметры наблюдаемого сигнала, осуществляется с помощью статистического или прямого перебора. Таким образом, метод редукции представляет собой модельно-ориентированный метод оценки параметров отдельного излучателя по результатам наблюдения принятого от него сигнала. Для географической привязки объекта используется триангуляция, а для трансформации спектрографического сигнала в спектрометрический масштабно-инвариантный преобразователь.

Ключевые слова: распознавание; параметрическое пространство; разбиение; области решений; кластеризация; нейронная сеть; обучение без учителя; обучение с учителем; метод редукции; статистический перебор; прямой перебор; спектрограф; спектрометр; масштабная инвариантность.

Для цитирования: Моисеев А. А. Оценка параметров наблюдения методом редукции // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 3. С. 31–38.

Процесс пассивного радиотехнического наблюдения включает ряд этапов, в частности обнаружение, местоопределение и распознавание наблюдаемых объектов [1]. Эти объекты могут быть комплексными и включать ряд подобъектов — например, радиолокационных станций (РЛС) различных типов и назначения. На этапе обнаружения в этой ситуации оцениваются параметры обнаруженных подобъектов, используемые в дальнейшем для их распознавания. Местоопределение подобъектов позволяет при этом идентифицировать их в составе объекта и тем самым решать задачу его структурного распознавания. В свою очередь, совокупность распознанных объектов с установленным местоположением характеризует наблюдаемое поле.

Совокупность параметров подобъектов определяет совокупность точек в многомерном параметрическом пространстве. Задача распознавания подобъектов в этих условиях сводится к рациональному разбиению пространства параметров на области решений, соответствующих подобъектам. Возможным методом решения этой задачи является предварительная кластеризация совокупности точек на этапе обучения без учителя с последующей фиксацией построенных границ [2]. Систему распознавания объектов предлагается реализовать в виде нейронной сети, алфавит которой образуют упомянутые выше области решений. Обучение этой сети предполагается вести либо по отчетственным аналогам, либо по существующим записям наблюдений, а в перспективе — на основе статистических моделей наблюдаемого поля.

Оценку параметров подобъекта на этапе обнаружения предлагается осуществлять на основе модели измерения принимаемой мощности подобъекта, интерпретируемого

как излучатель. Подгонка параметров модели измерения по его результатам представляет собой один из вариантов оптимальной редукции [3]. В качестве модели измерений в данном случае используется основное соотношение пассивной радиолокации. При широкополосном беспoiseвом приеме [1] относительная мощность принятого сигнала описывается в данном случае соотношением вида:

$$p = \frac{P}{N_0} \frac{Ag(\varphi_r, \varphi_s)}{4\pi D^2}$$

$$N_0 = kT\Delta f$$

где P — средняя мощность излучателя;
 N_0 — мощность шума в частотном диапазоне Δf приемника излучения [4];
 k — постоянная Больцмана;
 T — абсолютная температура приемника;
 A — площадь приемной антенны;
 D — дальность до излучателя;
 $g(\varphi_r, \varphi_s)$ — комплексная диаграмма, учитывающая ориентацию диаграмм направленности излучателя и приемника.
 С учетом скажности излучения d находим среднее отношение сигнал / шум:

$$k_s = \frac{P_0 A}{4\pi D^2 N_0 d} \quad (1)$$

где P_0 — мощность излучения в импульсе.
 Переходя в (1) к децибелам, получаем для модели сигнала:

$$s = 10 \lg(k_s g(\varphi_r, \varphi_s) + 1) \quad (2)$$

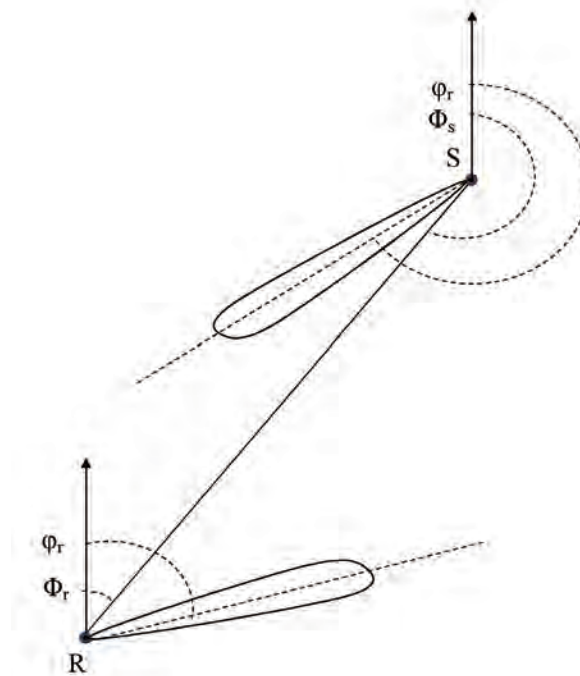


Рис. 1. Расчет комплексной диаграммы

Комплексная диаграмма направленности. В соответствии с [1] комплексная диаграмма определяется произведением диаграмм направленности излучателя и приемника. Стандартная форма этих диаграмм приближенно принимается в виде квадрата функции отсчетов вида [1, 3, 5]:

$$g(\psi) = G \sin^2(\psi \sqrt{G})$$

где $G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} = \frac{4\pi A f^2}{c^2}$ — коэффициент усиления антенны;

c — скорость света;

λ, f — длина волны и несущая частота радиоизлучения;

$\psi \ll 1$ — угловое отклонение от оси диаграммы направленности;

α — настроечный коэффициент.

Для ситуации всестороннего излучения или панорамного приема имеет место $g = 1$.

Пояснение к расчету комплексной диаграммы приведено на рисунке. Она представляет собой произведение диаграмм для приемника и излучателя с учетом отклонения осей диаграмм от азимута Φ_r «приемник – излучатель» и азимута Φ_s «излучатель – приемник», а также с ограничением величиной усиления приемной антенны:

$$g(\varphi_r, \varphi_s) = \min(G_r, g_r, g_s)$$

$$g_r = G_r \sin^2\left(\frac{2\pi}{T_r} t - \Phi_r\right)$$

$$g_s = G_s \sin^2\left(\frac{2\pi}{T_s} t - \Phi_s\right)$$

$$\text{где } \Phi_s = \begin{cases} \Phi_r + \pi, & \Phi_r < \pi \\ \Phi_r - \pi, & \Phi_r > \pi \end{cases}$$

t — текущее время наблюдения.

Импульсный характер принимаемого излучения отображается в модели дополнительной модуляцией огибающей (2). Аппроксимируя импульс отрезком косинусоиды, получаем:

$$s = 10 \lg \left(k_s g(\varphi_r, \varphi_s) \max \left(0, \cos \left(\frac{2\pi d_s}{T_s} t \right) \right) + 1 \right) \quad (3)$$

Параметры излучателя для полученного представления подбираются по результатам аппроксимации (3) методом наименьших квадратов. Указанная аппроксимация настраивается путем выбора параметров излучателя G_s, T_s, k_s с учетом заданных параметров приемника G_r, T_r, Φ_r . При этом выбранные значения параметров интерпретируются как их оценки по результатам наблюдения. В условиях отсутствия априорной информации об излучателе настройку предлагается осуществлять методом статистического или прямого перебора [6]. Принципиальная схема настройки приведена на рис. 2. Ее также можно дополнить процедурой коррекции **lsqcurvefit** [7], используя результат предварительного выбора в качестве начального приближения.

Отладка алгоритма настройки осуществлялась в ходе численного эксперимента. В качестве входных данных

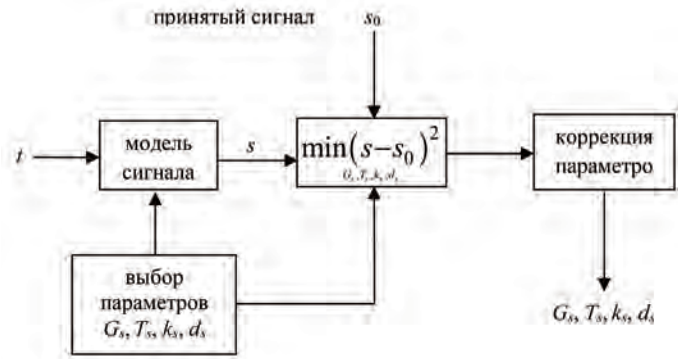


Рис. 2. Схема настройки

в этом эксперименте использовался csv-файл, полученный на основе модели (3), реализованной в графической среде LabVIEW [8]. Схема реализации модели приведена на рис. 3, а результат численного эксперимента по обработке файла данных в среде MATLAB с использованием прямого перебора отображен на рис. 4. Его анализ указывает на качественное соответствие расчетной и модельной динамики сигнала. Имело также место приближенное соответствие модельных и расчетных параметров принятого сигнала. Это обстоятельство позволяет интерпретировать настроечные параметры модели в качестве соответствующих оценок параметров сигнала по результатам его наблюдения.

Географическая привязка. Как уже отмечалось, распознавание сложных объектов включает предварительную географическую привязку составляющих их подобъектов. В свою очередь, эта привязка включает пеленгацию наблюдаемых подобъектов и оценку дальности для них. Естественным методом оценки дальности по локационным данным является триангуляция, предусматривающая решение треугольника по величине его основания – базы, а также двух углов при этом основании – пеленгов. Схема триангуляции приведена на рис. 5, а дальности, определяемые этим методом, составляют:

$$\begin{cases} D_B = \frac{L \sin \theta_C}{\sin(\theta_C - \theta_B)} \\ D_C = \frac{L \sin \theta_B}{\sin(\theta_C - \theta_B)} \\ D_t = \frac{L \sin \theta_B \sin \theta_C}{\sin(\theta_C - \theta_B)} \end{cases} \quad (4)$$

где D_A, D_B — дальности из концов базы;

D_t — дальность от траверса.

Погрешность местоопределения наблюдаемого подобъекта составляет при этом [9]:

$$\sigma_A = \frac{\sqrt{D_B^2 \sigma_B^2 + D_C^2 \sigma_C^2}}{L \sin(\theta_C - \theta_B)}$$

где σ_B, σ_C — погрешности пеленгации из концов базы.

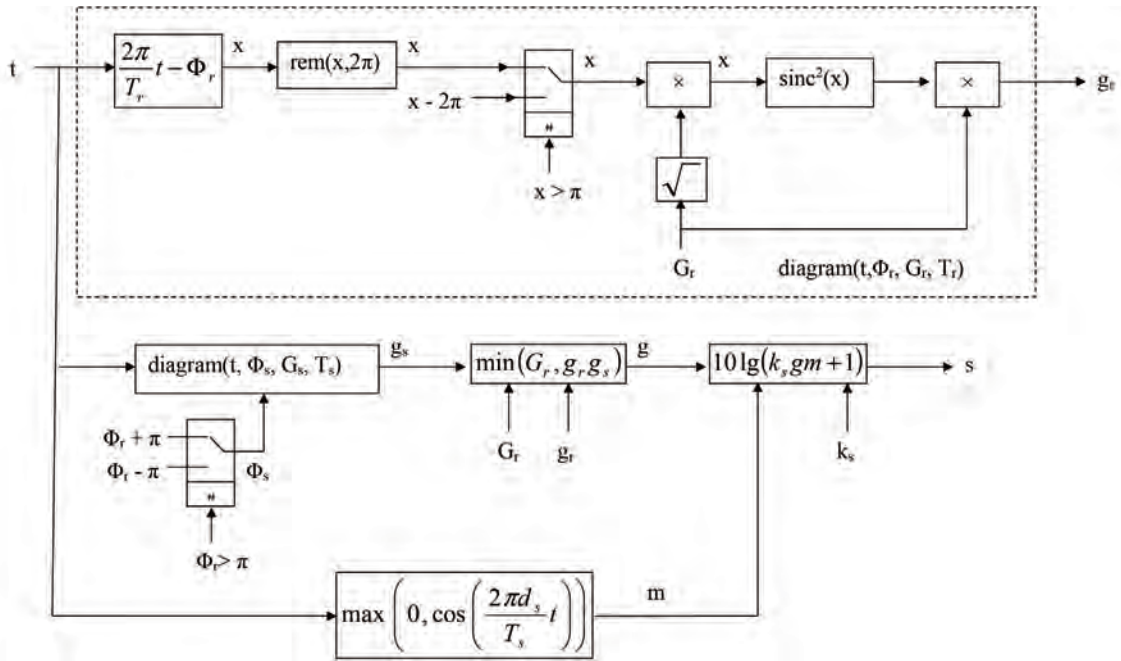


Рис. 3. Реализация модели

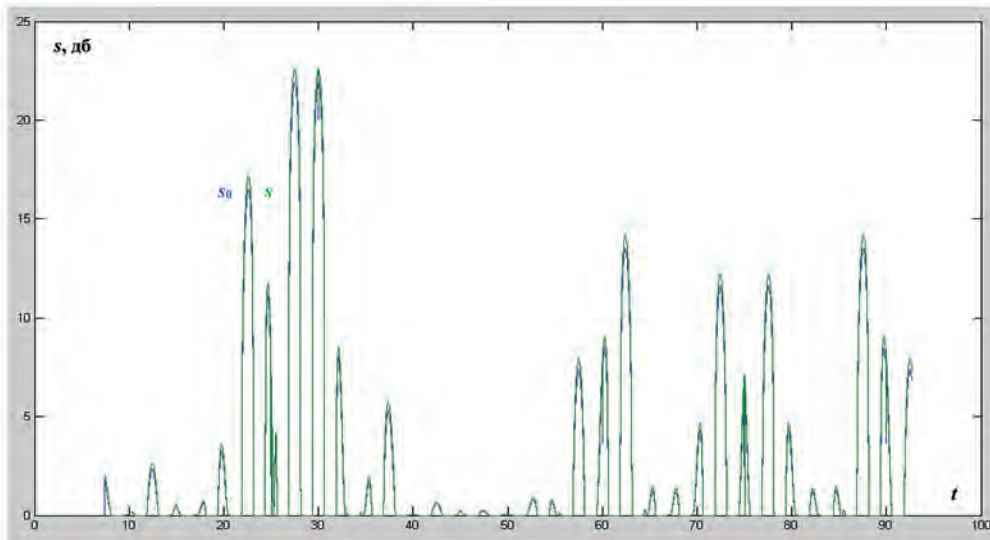


Рис. 4. Результат настройки

При определении дальности от центра базы может быть использован следующий подход. В соответствии с рис. 5 пеленг θ из центра базы определяется системой уравнений, вытекающих из свойств внешних углов треугольника и теоремы синусов:

$$\begin{cases} \theta = \theta_B + \alpha \\ \theta_C = \theta + \beta \\ \frac{\sin \theta_B}{\sin \theta_C} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin(\theta - \theta_B)}{\sin(\theta_C - \theta)} \end{cases} \quad (5)$$

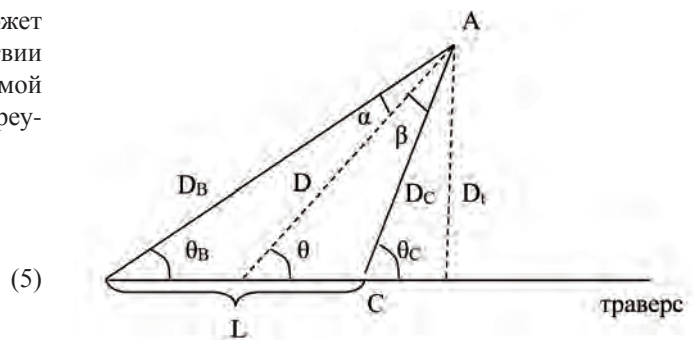


Рис. 5. Схема триангуляции

Исключая из этой системы α и β , получаем:

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{2 \sin \theta_B \sin \theta}{\sin(\theta_B + \theta_C)} \quad (6)$$

Дальность D относительно центра базы рассчитывается далее в соответствии с (4) с использованием подстановки $\theta_C \rightarrow \theta$, $D_C \rightarrow D$. В некоторых условиях наблюдения пеленги относительно траверса приходится рассчитывать по азимутам местоопределения из концов базы. Схема этого расчета приведена на рис. 6. В соответствии с ней указанные пеленги рассчитываются из соотношений:

$$\theta_B = \begin{cases} \varphi - \varphi_B, \varphi > \varphi_B \\ 2\pi + \varphi - \varphi_B, \varphi < \varphi_B \end{cases} \quad (7)$$

$$\theta_C = \begin{cases} \varphi - \varphi_C, \varphi > \varphi_C \\ 2\pi + \varphi - \varphi_C, \varphi < \varphi_C \end{cases}$$

где φ_B, φ_C — азимуты местоопределения;
 φ — азимут траверса.

Рассчитанные таким образом дальности могут быть пересчитаны в географические координаты наблюдаемого объекта. Пусть P_B, M_B — широта и долгота приемника

радиоизлучения, расположенного в точке В базы. Тогда в приближении малой дальности широта и долгота излучателя в точке А приближенно определяется соотношениями:

$$P_A = P_B + \frac{D_B \cos \varphi_B}{R_E}$$

$$M_A = M_B + \frac{D_B \sin \varphi_B}{R_E \cos P_B} \quad (8)$$

где R_E — радиус Земли.

При больших дальностях при проведении триангуляции необходим переход от решения плоских треугольников к решению сферических.

Масштабно-инвариантный преобразователь. Требование нечувствительности к федингу, предъявляемое к спектрометру, предполагает использование масштабно-инвариантного преобразователя. В применении к анализу спектра этот преобразователь используется для спектрометрических измерений в составе спектрографа. Возможная схема алгоритма такого преобразования рассмотрена в [10] и приведена на рис. 7. Пара инерционных звеньев с незначительно отличающимися временными параметрами T и $T + \Delta T$ образуют полосовой фильтр, а деле-

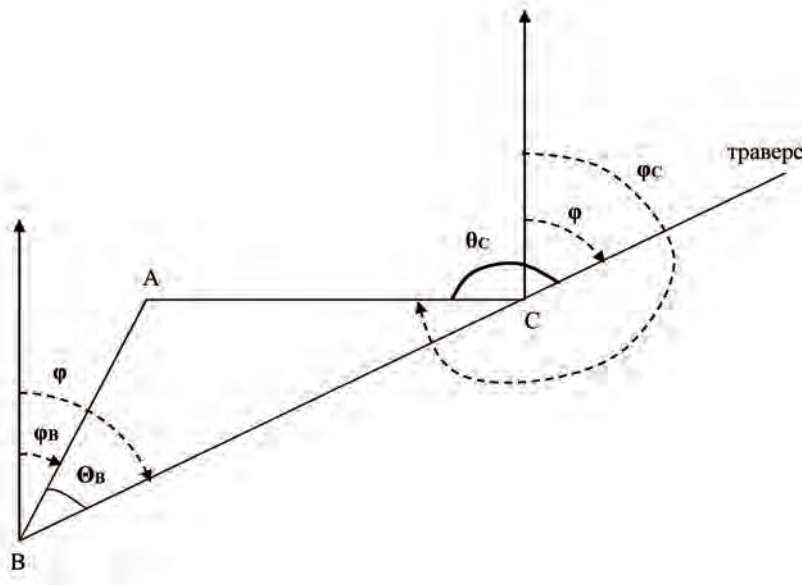


Рис. 6. Расчет пеленгов по азимутам

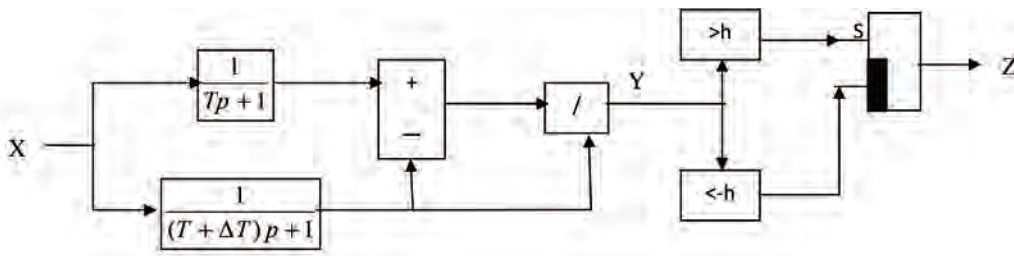


Рис. 7. Масштабно-инвариантный преобразователь

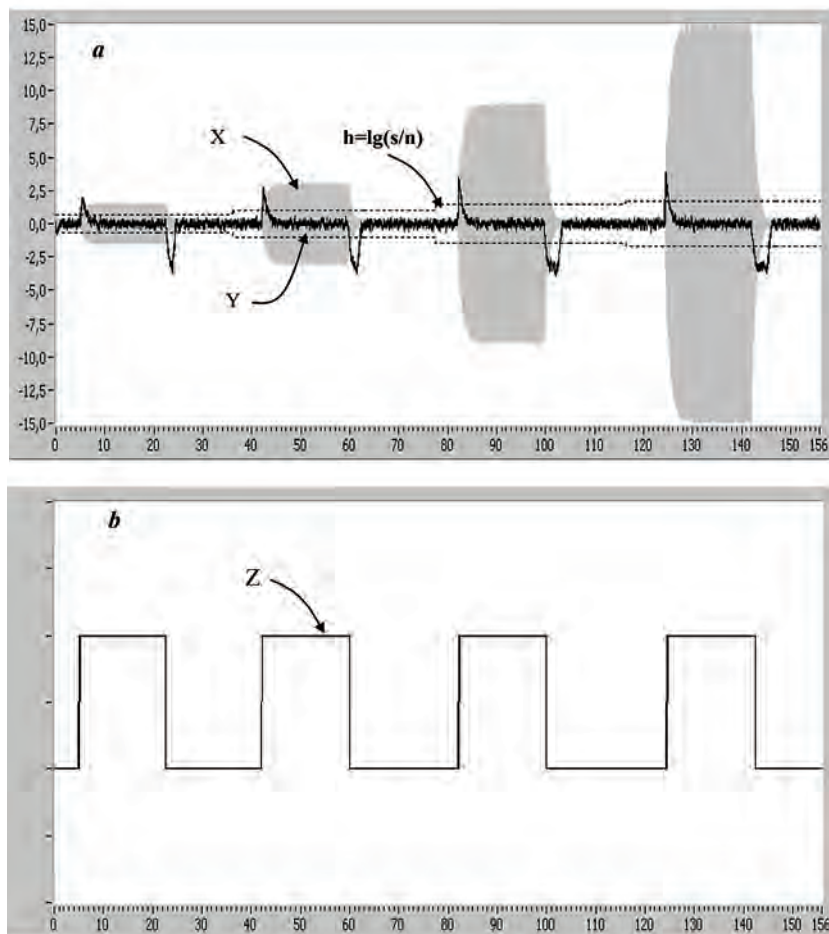


Рис. 8. Динамика спектрометра

ние выхода фильтра на выход одного из инерционных звеньев обеспечивает масштабную инвариантность выхода.

Входом преобразователя является зашумленный спектрографический сигнал X, промежуточным выходом — спектрометрический сигнал Y, а независимая переменная представляет собой переменную развертки. Промежуточный выход обрабатывается симметричным пороговым устройством, порог которого был принят равным $h = \lg(s/n)$, где s/n — предполагаемое отношение сигнал/шум. В свою очередь, выходы этого устройства управляют триггером с приоритетом по сбросу, на выходе которого формируется бинарный признак Z наличия спектра.

Динамика сигнала Y построенного таким образом спектрометра изображена на рис. 8а. Для наглядности на этом же рисунке приведены исходная форма спектра X и зависимость порога детектирования для разных отношений сигнал/шум. Анализ этого рисунка, а также динамики признака спектра Z, приведенной на рис. 8б, указывают на незначительное влияние отношения сигнал/шум на величину порога и измеряемую полосу спектра. Таким образом, можно утверждать, что построенный преобразователь действительно является масштабно-инвариантным.

Полученные оценки периода следования импульсов T_s и их скважности d_s позволяют оценить длительность излучаемого импульса $\tau \approx \frac{T_s}{d_s}$. Наряду с оценкой полосы спектра Δf , характеризующей используемую модуляцию импульса, спектрометрические наблюдения позволяют также определить несущую частоту излучения f_0 и, следовательно, длину его волны $\lambda = \frac{c}{f_0}$. Используя ее и оценку усиления антенны G_s , можно оценить площадь излучателя $A_s = \frac{\lambda^2 G_s}{4\pi}$ [1]. Связь между коэффициентом усиления антенны и линейным углом раствора диаграммы направленности используется в качестве альтернативного способа задания указанного коэффициента. Эта связь определяется соотношением $G = \frac{4\pi}{\Omega}$, а телесный угол раствора в предположении о конусовидной форме диаграммы направленности связан с линейным углом раствора ψ выражением $\Omega = 2\pi(1 - \cos \psi)$. Отсюда вытекает соотношение связи $\cos \psi = 1 - \frac{\Omega}{2\pi} = 1 - \frac{2}{G}$ или $\psi = \arccos\left(1 - \frac{2}{G}\right)$. Оценки

отношения сигнал/шум k_s и скважности d_s позволяют при определенной метод триангуляции дальности D оценить мощность излучения в импульсе P_0 в соответствии с соотношением (1).

Таким образом, проведенное рассмотрение показывает, что метод редукции представляет собой модельно-ориентированный метод оценки параметров по результатам наблюдения и позволяет провести детальную оценку параметров отдельного излучателя по результатам анализа принятого от него сигнала.

Выводы

1. Совокупность параметров наблюдаемых подобъектов образует множество точек многомерного пространства указанных параметров. Задача распознавания в этих условиях сводится к разбиению этого пространства на области решений, соответствующих характеристика отдельных подобъектов. Возможным методом решения этой задачи является предварительная кластеризация указанного множества точек этапе обучения без учителя с последующей фиксации границ областей.

2. Система распознавания сложных объектов реализуется в виде нейронной сети, алфавит которой соответствует упомянутым областям решений, а сложные объекты представляют собой слова этого алфавита. Формированию этих слов предшествует географическая привязка подобъектов, позволяющая идентифицировать их как составляющие объекта.

3. Оценка параметров подобъектов предлагается осуществлять на базе модели измерения, базирующейся на основном соотношении пассивной локации. Оценка параметров подобъекта осуществляется в ходе настройки соответствующих параметров модели путем прямого или статистического перебора. Географическую привязку наблюдаемых подобъектов предполагается осуществлять методом триангуляции.

4. Построен преобразователь спектрографического сигнала в спектрометрический, базирующийся на реализации полосового фильтра с помощью пары инерционных звеньев с разнесенными временными параметрами. Приближенная масштабная инвариантность преобразователя была продемонстрирована в ходе численного эксперимента.

5. Проведенное рассмотрение показывает, что метод редукции представляет собой модельно-ориентированный метод оценки параметров по результатам наблюдения и позволяет провести детальную оценку параметров отдельного излучателя по результатам анализа принятого от него сигнала.

Литература

1. *Смирнов Ю. А.* Радиотехническая разведка. М.: Воениздат, 2001. 456 с.
2. *Буренин А. Н., Легков К. Е.* Современные инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления: монография. М.: Медиа-Паблицер, 2015. 348 с.
3. *Хургин Я. М., Яковлев В. П.* Фinitные функции в физике и технике. М.: Наука, 1971. 408 с.
4. *Ван дер Зил А.* Шум. М.: Советское радио, 1973. 228 с.
5. *Гудмен Дж.* Введение в фурье-оптику. М.: Мир, 1970. 364 с.
6. *Моисеев А. А.* Критериальное моделирование в виртуализации квалификационных испытаний // Информационные технологии. 2016. Т. 22. № 8. С. 596–605.
7. *Ануфриев И. Е., Смирнов А. Б., Смирнова Е. В.* MATLAB7. СПб.: БХВ, 2005. 1104 с.
8. *Bress T.* Effective LabVIEW Programming. NTS Press, 2013. 720 p.
9. *Мельников Ю. П., Попов С. В.* Радиотехническая разведка. М.: Радиотехника, 2008. 432 с.
10. *Моисеев А. А.* Виртуальный детектор пламени // Промышленные АСУ и контроллеры. 2015. № 7. С. 64–66.



OBSERVATION PARAMETERS ESTIMATION USING REDUCTION METHOD

Alexander A. Moiseev,
Moscow, Russia, slow.coach@yandex.ru

ABSTRACT

Passive monitoring process includes some stages, in particular object disclosure, localization and recognition. These objects can be complex and can include some subobjects – for example different radars. At disclosure subobjects parameters are estimated, which used for subobjects recognition. Subobjects localization allows identifying them in object frames and performing object structure recognition. For one's part set of recognized objects characterizes field under monitoring. Parameters values of observed subobjects form points set of these parameters multidimensional space. In this situation recognition is equivalent to space subsetting into solutions areas which correspond to some subobjects characteristics. Possible method of subsetting is points clusterization at learning without teacher and subsequent fixation of areas boundaries. Complex objects recognition realizes as taught neuron system whose alphabet corresponds to solutions areas mentioned above, Objects correspond to words formed on this alphabet basis. To words formation precedes geographical subobjects binding which provides their identification as object components and performs using triangulation method. Parameters estimation is proposed to perform using reduction method based on passive location equation. Model parameters adjusted by means of statistical or direct search. Thus reduction method can be interpreted as model-oriented method of parameters estimation on results of irradiations observation. To transform spectrographic signal into spectrometric one it's proposed to use scale-invariant transformer

Keywords: recognition; parametrical space; subsetting; solutions areas; cauterization; .neuron net; learning without teacher; learning with teacher; reduction method; statistical search; direct search; spectrograph; spectrometer; scale invariance.

References

1. Smirnov Yu. A. *Radiotekhnicheskaya razvedka* [Electronic intelligence]. Moscow: Voenizdat, 2001. 456 p. (In Russian)
2. Burenin A. N., Legkov K. E. *Sovremennye infokommunikatsionnye sistemy i seti spetsial nogo naznacheniya. Osnovy postroeniya i upravleniya: Monografiya.* [Modern infocommunication systems and special purpose networks. Basics of creation and control]. Moscow, Media Publisher, 2015. 348 p. (In Russian)
3. Khurgin Ya. M., Yakovlev V. P. *Finitnye funktsii v fizike i tekhnike* [Finitary functions in physics and technics]. Moscow: Nauka, 1971. 408 p. (In Russian)
4. Van der Ziel A. *Noise.* Prentice-Hall, 1954. 228 p.
5. Goodman J. *Introduction into fourier optics.* NY: McGraw Hill, 1968. 364 p.
6. Moiseev A. A. Kriterialnoe modelirovanie v virtualizatsii kvalifikatsionnykh ispytaniy [Criteria modeling in virtualization of qualification tests]. *Informacionnye tehnologii* [Information technologies]. 2016. Vol. 22. No. 8. Pp. 596–605. (In Russian)
7. Anufriev I. E., Smirnov A. B., Smirnova E. V. *MATLAB 7.* St-Petersburg: BChV, 2005. 1104 p. (In Russian)
8. Bress T. *Effective LabVIEW Programming.* NTS Press, 2013. 720 p.
9. Mel'nikov Yu. P., Popov S. V. *Radiotekhnicheskaya razvedka* [Electronic intelligence]. Moscow: Radiotekhnika, 2008. 432 p. (In Russian).
10. Moiseev A. A. Virtualnyj detektor plameni [Virtual flame detector]. *Promyshlennye ASU i kontrolyer* [Industrial Automatic Control Systems and Controllers]. 2015. No. 7. Pp. 64–66. (In Russian)

Information about author:

Moiseev A. A., PhD, senior researcher of enterprise "Technos - RM".

For citation: Moiseev A. A. Observation parameters estimation using reduction method. *H&ES Research.* 2017. Vol. 9. No. 3. Pp. 31–38. (In Russian)

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КАЧЕСТВА ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ В СЕТЯХ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

Ромашкова Оксана Николаевна,

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой прикладной информатики
института математики, информатики и естественных наук
Московского городского педагогического университета,
г. Москва, Россия, ox-rom@yandex.ru

Самойлов Вячеслав Евгеньевич,

аспирант кафедры автоматизации, телемеханики и связи
на железнодорожном транспорте Московского государственного
университета путей и сообщения Императора Николая II,
г. Москва, Россия, samoilov.1992@list.ru.

АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается актуальная на данный момент задача выбора критерия оценки качества речи. Целью работы является выбор методики оценки качества пакетной передачи речи и её адаптация к измерениям с использованием физического имитатора радиоканала. После обоснования выбора, в качестве критерия оценки качества передачи речи, слоговой разборчивости проводится оценка качества пакетной передачи речи в дециметровом диапазоне волн. В качестве объекта исследования используется физический имитатор радиоканала с входящей в него имитационной физической моделью радиолинии. Радиоканал дециметрового диапазона волн создаётся радиокартами стандарта Radio Ethernet 802.11 – Wi-Fi, работающими в диапазоне частот 2,4 ГГц. В работе также, описывается методика оценки слоговой разборчивости с использованием физического имитатора радиоканала. Приводятся результаты оценки слоговой разборчивости радиоканала дециметрового диапазона волн, полученные в условиях реальных артикуляционных испытаний. В виде табличных данных приводится зависимость процента правильно принятых слогов по каждой слоговой таблице от затухания в имитационной физической модели радиолинии по каждой использованной таблице из приложения Б ГОСТ Р 50840-95. В графическом и табличном виде приводится зависимость слоговой разборчивости от затухания в имитационной физической модели радиолинии. С помощью таблицы классов качества производится оценка качества пакетной передачи речи по трём градациям: «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично». Определяются диапазоны затухания имитационной физической модели радиолинии, которые соответствуют этим градациям.

Ключевые слова: качество передачи речи; пакетная передача речи; слоговая разборчивость; физический имитатор радиоканала, имитационная физическая модель радиолинии, дециметровый диапазон волн, затухание.

Для цитирования: Ромашкова О. Н., Самойлов В. Е. К определению качества пакетной передачи речи в сетях подвижной связи // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 3. С. 39-44.

Введение

Для оценки качества передачи речи в сетях подвижной связи третьего поколения применяют методики, учитывающие различные критерии качества, такие как критерии ОСШ, MOS, метод измерения индекса артикуляции AI, индекс разборчивости речи SII, сегментальные испытания, различные виды артикуляционных испытаний (словесная разборчивость речи, фразовая разборчивость речи, слоговая разборчивость речи) и др. Однако в отечественных стандартах и исследованиях [1–3] чаще используется оценка слоговой разборчивости, поскольку она имеет ряд преимуществ (меньшую запоминаемость, удобство при обработке и др.). Этот критерий основан на таблицах бес-связных слогов, содержащих в нужном соотношении все звуки речи. Слоговая разборчивость — это субъективная оценка, и поэтому она наиболее адекватно определяет качество при реальном разговоре. Ряд научных работ [4–7] предлагают аналитические методики оценки слоговой разборчивости речевого сигнала для различных языков.

В последние годы стал использоваться и другой способ субъективной оценки качества передачи речи — краудсорсинг. Этот метод основан на привлечении к оценке качества связи абонентов сети и активно используется операторами сотовой связи. Метод имеет ряд достоинств, в частности, минимальные временные и финансовые затраты, однако если говорить о точности измерений, то краудсорсинг в этом уступает классической слоговой разборчивости, поскольку выбор абонентов осуществляется случайным образом, и в момент оценки качества связи на абонента могут воздействовать различные внешние факторы, влияющие на точность проведения измерений.

Кроме того, дополнительным преимуществом определения слоговой разборчивости является возможность перехода между значениями слоговой, словесной, фразовой, числовой и формантной разборчивости, поскольку существуют определённые взаимозависимости, описанные специальными графиками [8].

Всё вышесказанное определяет актуальность исследования, а так же объект и предмет данной статьи.

Методика определения слоговой разборчивости с использованием физического имитатора радиоканала

Остановимся подробнее на методике оценки слоговой разборчивости согласно ГОСТ Р 50840–95, поскольку она довольно трудоёмка и времязатратна. Используемый стандарт регламентирует комплексное оценивание качества передачи речи. Комплексная оценка включает: слоговую разборчивость, заметность искажения качества речи в тракте (аппаратуре) связи по методу парных сравнений относительно контрольного тракта, заметность искажения шести селективных признаков (картавость, гнусавость и др.), а также ряд других оценок.

Как было представлено во введении из вариации критериев качества, регламентируемых стандартом, нами была выбрана оценка качества восстановления речи по критерию слоговой разборчивости. Следовательно, при

проведении артикуляционных испытаний с использованием физического имитатора радиоканала (ФИРК) должны выполняться следующие основные требования:

- измерения проводятся в климатических условиях соответствующих ГОСТ 15150–95;
- в помещении для проведения испытаний уровень шума должен быть не более 50 дБ;
- измерения проводит бригада, в составе которой должно быть не менее трёх auditors в возрасте от 18 до 30 лет, не имеющих дефектов речи и слуха;
- подготовка к проведению измерений заключается в подаче на вход испытываемого тракта (аппаратуры) речевого теста (таблицы) и записи на выходе тракта.

Определение слоговой разборчивости проходит в следующем порядке:

1. Артикуляционные испытания проводит бригада в составе, трёх auditors, прошедшая специальную подготовку, путём предварительного прослушивания используемых артикуляционных слоговых таблиц приложения Б ГОСТ Р 50840–95.

2. Бригада операторов проводит ознакомление с речевым материалом, привыкает к восприятию искажённой в условиях испытываемого цифрового тракта речи.

3. Каждый аудитор прослушивает аудиозапись искажённой слоговой таблицы и записывает принятые слоги в бланк. Неверно воспринятый слог аудитор выделяет в соответствующей строке бланка принятых слогов.

4. Подобным образом испытания проводятся несколько раз при разных уровнях искажения сигнала. При этом каждый раз последовательность таблиц изменяется.

Для каждого испытания определяется среднее значение разборчивости, после чего определяют сомнительные значения, которые убирают из расчёта, и определяют новое значение слоговой разборчивости

В случае достижения бригадой стабильных результатов измерения разборчивости (двух-трёхдневная стабильность значений средней слоговой разборчивости по бригаде) испытания считают законченными.

После приёма 5 таблиц бригада должна сделать 5–10 минутный перерыв. В случае работы в шумных помещениях (с уровнем шума выше 50 дБ) бригада приступает к испытаниям после нескольких минут адаптации к шуму.

Для определения слоговой разборчивости с использованием ФИРК можно использовать и аналитическую методику расчёта слоговой разборчивости для русскоязычного речевого сообщения, и её аппроксимацию, полученные в работе [10]. Методика аналитической оценки слоговой разборчивости русскоязычной речи представлена ниже и формулой 1 [10].

$$S = 35 + 65(1 - e^{-0,05\text{ОСШ}}) \quad (1)$$

Однако в нашей работе была использована методика, представленная в ГОСТ Р 50840–95 для исключения погрешностей, возникших в ходе разработки аналитического метода оценки слоговой разборчивости и аппроксимации его кривых.

Постановка эксперимента по оценке слоговой разборчивости пакетной передачи речи в радиоканале диапазона 2,4 ГГц

Оценка слоговой разборчивости пакетной передачи речи в радиоканале диапазона 2,4 ГГц основана на использовании физического имитатора радиоканала и входящей в него имитационной физической модели радиолинии (ИФМР), предложенных в работах [10–11].

На рис. 1 приведена схема, предназначенная для имитации радиосигнала диапазона 2,4 ГГц (подобная схема может применяться и в других диапазонах частот).

На вход ФИРК от ПК1 подавалась последовательность из 55 оцифрованных слоговых таблиц, которые, согласно приложению Б ГОСТ Р 50840–95, предназначены для определения слоговой разборчивости. Минимальная продолжительность передаваемой аудиозаписи составила 60 минут, поскольку данный временной отрезок является оптимальным для определения качества пакетной передачи речи [6]. Для цифровой аудиозаписи использовалась частота дискретизации 44100 Гц и равномерное квантование с числом уровней квантования $2^{16} = 65536$.

Для определения качества пакетной передачи речи в дециметровом диапазоне волн использовался радиоканал диапазона 2,4 ГГц, создаваемый приёмной и передающей радиокартами стандарта Radio Ethernet 802.11 — Wi-Fi. В качестве источника и приёмника сигнала применены два персональных компьютера.

ИФМР так же, как и в работах [10–11], представляет собой коаксиальную линию с дискретным аттенуатором, вносящим затухание в линию. Изменение затухания в ИФМР позволяет имитировать удаления приёмника от

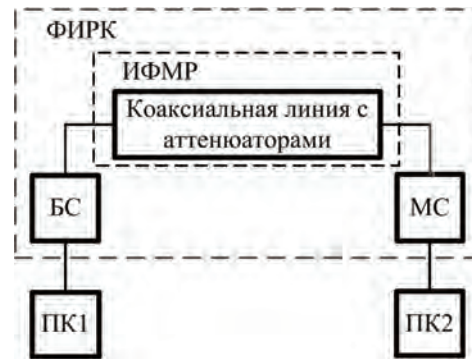


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для имитации радиосигнала: ПК1 – персональный компьютер на входе ФИРК (источник сигнала), ПК2 – персональный компьютер на выходе ФИРК (приёмник сигнала), БС – базовая станция, МС – мобильная станция

передатчика и вносить искажения в передаваемую аудиозапись слоговых таблиц.

Результаты субъективной оценки качества пакетной передачи речи в радиоканале диапазона 2,4 ГГц

Согласно регламенту проведения артикуляционных испытаний, описанному в, для оценки качества передачи речи по радиоканалу диапазона 2,4 ГГц достаточно использовать 20 слоговых таблиц, представленных в приложении Б (для оценки были взяты таблицы Б100 — Б119).

Измерения проводила бригада аудиторов в составе 10 человек. В ходе измерений каждым аудитором для 17 начений

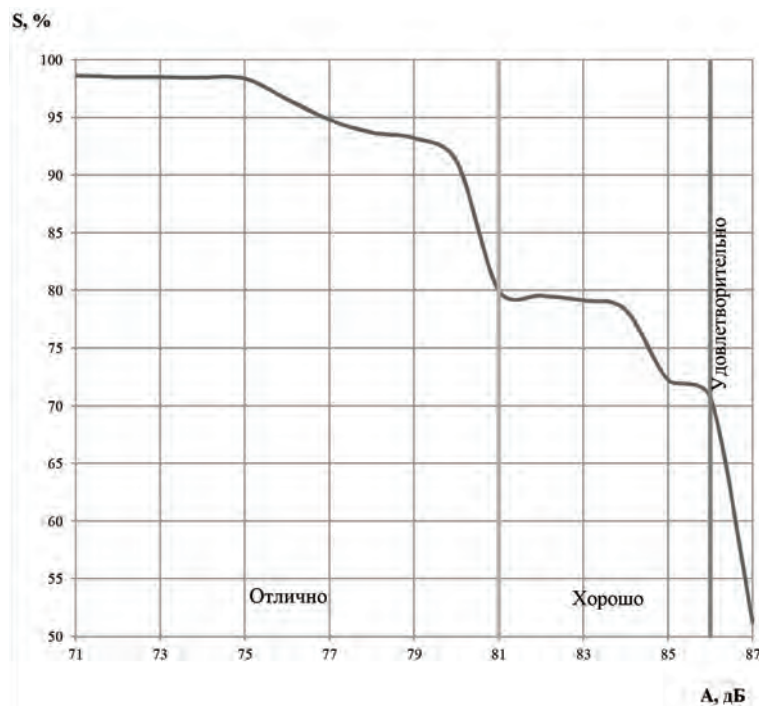


Рис. 2. Зависимость слоговой разборчивости от затухания ИФМР

Таблица 1

Зависимость процента правильно принятых слогов по каждой слоговой таблице от затухания ИФМР

Затухание, вносимое ИФМР, дБ	Слоговые таблицы												
	Б100	Б101	Б102	Б103	Б104	Б105	Б106	Б114	Б115	Б116	Б117	Б118	Б119
71	97,4	98,3	98,4	99	98,8	97,2	99,2	99,1	99,2	99,2	99	98,1	97,7
72	98,9	98,5	98	98,8	98,8	98,2	99,2	98,6	99,2	99	98,2	97,6	96,5
73	99,2	98,2	98,2	98,2	98,9	97,4	98,6	98,7	99,1	98,9	99	97,2	97,6
74	98,7	98,1	98,2	98,2	97,6	98,7	98,2	98,9	98,6	98,7	98,7	98,4	97,7
75	96	96,8	98,2	98,8	99,1	98,1	99,1	96,8	98	98,9	99,1	98,1	98,3
76	92,4	96,4	93,9	96	94	98,3	97,1	96,9	99,1	97,1	97,2	95,2	95,2
77	99,2	98,7	87,5	97,9	94,6	95,2	95,4	94,2	93,6	92,3	97,1	92,6	91,8
78	95,8	91,2	92	96,4	92,7	92,2	95,1	91,7	93,6	95,7	93,6	90,8	92,7
79	93,6	95,8	95,7	88,2	91,7	94,3	91,2	95,1	95	91,4	93,7	92,4	93,6
80	94,6	90,3	90,8	90,3	93,8	91,4	91,4	92,7	91,9	91,3	91,9	85,4	90,5
81	84,5	79,1	78	78,3	78,3	76,8	81,5	81,3	79	82	82,6	78,2	81,9
82	82,3	77,5	81,6	81,8	77,2	76,9	79	74,7	82,8	80,5	81,4	77,1	79,7
83	82,3	78,4	83	83	81,4	80,2	80,7	74,6	80,2	76,7	77,6	73,4	77,1
84	72,4	77,1	77,7	84,3	81,2	76,8	78,3	77,7	78,5	79,7	79,7	74,6	78
85	73,8	77,8	71,2	78,8	74	70	71,6	66,2	72,9	71,3	75,7	70,7	64,9
86	73,2	72,5	73	74,3	72,6	68,2	73,9	71,5	70,7	67,4	65,9	65,6	67,7
87	53,1	54,8	51,3	53,5	53,6	51	52,2	49,7	55,7	48,7	49,7	42,2	47

Таблица 2

Зависимость слоговой разборчивости от затухания ИФМР

Затухание, вносимое ИФМР А, дБ	Среднее значение разборчивости S, %
71	98,64
72	98,52
73	98,49
74	98,47
75	98,38
76	96,58
77	94,8
78	93,7
79	93,21
80	91,21
81	80
82	79,56
83	79,15
84	78,3
85	72,23
86	70,68
87	51,25

затуханий ИФМР в диапазоне 71–87 дБ с шагом в 1 дБ были заполнены бланки для записи слогов (по 20 бланков для каждого значения затухания). По заполненным бланкам аудитором определялся процент правильно принятых слогов и, в итоге, после подсчёта правильно принятого процента слогов и объединения данных в единую таблицу, было получено значение слоговой разборчивости пакетной передачи речи в радиоканале диапазона 2,4 ГГц.

Некоторые значения процента правильно принятых слогов определённые бригадой по каждой слоговой таблице для 17 значений затуханий ИФМР, представлены в табл. 1.

Результирующие значения разборчивости, полученные путём усреднения, для каждого значения затухания ИФМР приведены в табл. 2.

После анализа данных, полученных в ходе проведения артикуляционных испытаний, опираясь на таблицу классов качества из ГОСТ Р 50840–95, можно заключить, что при затуханиях в ИФМР от 71 до 81 дБ передача речи осуществляется с оценкой «отлично», при затуханиях от 82 до 86 дБ — «хорошо», а при затухании 87 дБ — «удовлетворительно». Кроме этого, в ходе проведения эксперимента было установлено, что при значении затухания 88 дБ связь обрывается. Для иллюстрации приведён рис. 2, который графически отражает зависимость слоговой разборчивости от затухания в ИФМР.

Отклонения на графике в точках с затуханием 81 и 85 дБ могли возникнуть в результате появления погрешностей в ходе проведения испытаний, что говорит о необходимости их повторения для уточнения результатов.

Полученные значения слоговой разборчивости можно сравнить со значениями в работе [9], построив зависимость слоговой разборчивости от отношения сигнал/шум (ОСШ). Значения ОСШ возьмём из работы [10], поскольку в ней исследовался радиоканал диапазона 2,4 ГГц с таким же оборудованием и характеристиками. Рисунок 3 отражает зависимость слоговой разборчивости от ОСШ. На рисунке цифрой 1 обозначена зависимость, полученная в ходе эксперимента, а цифрой 2 — зависимость построенная с использованием формулы 1.

Проводя анализ графиков, стоит отметить, что результаты, полученные в нашей работе близки к результатам, полученным в работе [9], а график 2 является «линией тренда» по отношению к графику 1.

Заключение

В работе рассмотрена процедура оценки пакетной передачи речи в дециметровом диапазоне волн по критерию слоговой разборчивости. Особенностью работы является средство исследования — ФИРК. Анализ результатов, полученных в ходе исследования, говорит о необходимости дальнейшего изучения данного объекта с использованием других критериев оценки качества. Благодаря простоте реализации ФИРК может оказаться весьма полезным инструментом для определения качества в сетях подвижной связи с пакетной передачей речи без проведения натурных испытаний.

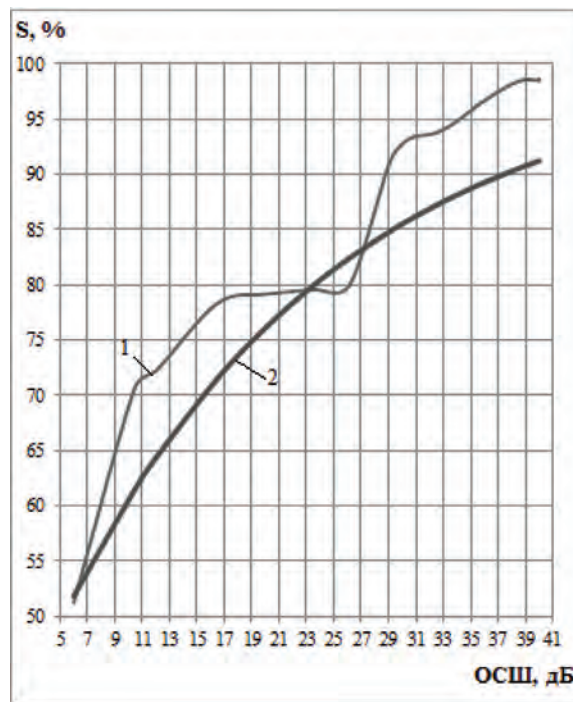


Рис. 3. Зависимость слоговой разборчивости от затухания ОСШ

Литература

1. Горелов Г.В., Клепцов Г.И., Попов И.Л. Пакетная передача речи в сетях подвижной связи // Мир транспорта. 2014. № 3. С. 55–59.
2. Росляков А.В., Самсонов М.Ю., Шибалева И.В. IP-телефония. М.: Эко-Трендз, 2001. 250 с.
3. Яновский Г.Г. Оценка качества передачи речи // Вестник связи. 2008. № 2. С. 91–94.
4. Горелов Г.В., Бахтиярова Е.А. Вероятностные характеристики сообщения устной казахской речи // Телекоммуникации. 2007. № 9. С. 8–9.
5. Горелов Г.В., Бахтиярова Е.А., Карпов А.В. Вероятностные характеристики речевого трафика // Мир транспорта. 2007. № 1(17). С. 22–25.
6. Горелов Г.В., Житнов А.А., Вин Х. Пакетная передача речи с использованием динамической беспроводной сети AD-НОС Network стандарта 802.11 // Проектирование и технология электронных средств. 2011. № 3. С. 24–25.
7. Горелов Г.В., Ромашкова О.Н., Чан Т.А. Качество управления речевым трафиком в телекоммуникационных сетях: монография. М.: Радио и связь, 2001. 112 с.
8. Сапожков М.А. Речевой сигнал в кибернетике и связи. М.: Связьиздат, 1963. 452 с.
9. Горелов Г.В., Казанский Н.А., Лукова О.Н. Методика оценки качества пакетной передачи речи в интегральных цифровых сетях // Электросвязь. 1992. № 9. С. 31–33.
10. Горелов Г.В., Попов И.Л., Маркачев С.А., Самойлов В.Е. К определению зоны эстафетной передачи в сетях сотовой связи технологии многостанционного доступа

с кодовым разделением // Проектирование и технология электронных средств. 2015. № 2. С. 51–55.

11. Горелов Г.В., Попов И.Л., Самойлов В.Е. Зона эстафетной передачи в сети стандарта сотовой связи третьего

поколения технологии МДКР // Юбилейная 70-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвящённая Дню радио: сб. трудов. (21–29 апреля 2015, Санкт-Петербург). СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. № 1. С. 319–320.

TO THE DEFINITION OF PACKET SPEECH TRANSMISSION QUALITY IN MOBILE NETWORKS

Oxana N. Romashkova,
Moscow, Russia, ox-rom@yandex.ru

Vyacheslav E. Samoylov,
Moscow, Russia, samoilov.1992@list.ru

ABSTRACT

The work discusses the currently relevant problem of a choice of criterion of speech quality. The aim of the work is the choice of the methods of assessing the quality of packet speech and its adaptation to the measurements with the use of the physical simulator of radio. After the study of choice, as a criterion of speech transmission quality, syllabic intelligibility assessment of the quality of packet voice transmission in the UHF band. As the object of study is a physical simulator of the radio component of a simulation physical model of radio. Radio decimetric waves is created by Prox standard 802.11 Radio Ethernet – Wi-Fi, operating in the frequency range of 2.4 GHz. The paper also describes the method of estimating syllable intelligibility using a physical channel simulator. The results of the evaluation of syllabic intelligibility of UHF radio waves received in actual articulation tests. The tabular data shows the correlation of the percentage of correctly accepted syllables for each syllable from the table of attenuation in the simulation of the radio link physical model used for each table from Annex B GOST R50840-95. In graphical and tabular forms shows the correlation of syllabic intelligibility of damping in the radio physical model simulation. Using the table of grades is assessment of the packet speech quality in three grades: "satisfactory", "good" and "excellent". Ranges are damping simulation the radio physical model of the that correspond to these gradations.

Keywords: voice quality; batch transmission of speech; syllable intelligibility; physical radio channel simulator, simulation the physical model of the radio system, UHF waveband, attenuation.

References

1. Gorelov G.V., Klaptsov G.I., Popov I.L. Packet transmission of speech in mobile networks. *World of Transport and Transportation*. 2014. No. 3. Pp. 55–59. (In Russian)
2. Roslyakov A.V., Samsonov M.Y., Shibaeva I.V. *IP-telefoniya* [IP telephony]. Moscow: Eco-Trends, 2001. 250 p.
3. Yanovsky G.G. Otsenka kachestva peredachi rechi [Evaluation of quality of speech transmission]. *Vestnik svyazi* [Herald of communication]. 2008. No. 2. Pp. 91–94.
4. Gorelov G.V., Bakhtiyarova E.A. The probabilistic characteristics of the oral message of the Kazakh language. *Telekommunikatsii* [Telecommunications]. 2007. No. 9. Pp. 8–9.
5. Gorelov G.V., Bakhtiyarova E.A., Karpov A.V. The probabilistic characteristics of the speech traffic. *World of Transport and Transportation*. 2007. No. 1(17). Pp. 22–25.
6. Gorelov G.V., Sitnov A.A., H. Wines. Packet transmission of speech using dynamic wireless network AD-HOC standard 802.11. *Proektirovanie i tekhnologiya elektronnykh sredstv* [Design and technology of electronic means]. 2011. No. 3. Pp. 24–25.
7. Gorelov G.V., Romashkova O.N., Chan T. A.. *Kachestvo upravleniya rechevym trafikom v telekommunikatsionnykh setyakh: monografiya* [Quality of control for speech traffic in telecommunication networks: monograph]. Moscow: Radio i svyaz', 2001. 112 p.
8. Sapozhkov M.A. *Rechevoy signal v kibernetike i svyazi* [Speech signal in cybernetics and communication]. Moscow: Svyaz'izdat, 1963. 452 p.
9. Gorelov G.V., Kazanskiy N.A., Lucova O.N. Metodika otsenki kachestva paketnoy peredachi rechi v integral'nykh tsifrovyykh setyakh [Methods of evaluation the quality of packet transmission of speech in integrated digital networks]. *Elektrosvyaz'* [Electric communication]. 1992. No. 9. Pp. 31–33.
10. Gorelov G.V., Popov, I.L., Markachev S.A., Samoilov V.E. To the definition of the zone handoff in cellular network technology multiple access with code division. *Proektirovanie i tekhnologiya elektronnykh sredstv* [Design and technology of electronic means]. 2015. No. 2. Pp. 51–55.
11. Gorelov G.V., Popov I.L., Samoilov V.E. Zona estafetnoy peredachi v seti standarta sotovoy svyazi tret'ego pokoleniya tekhnologii MDKR [Area handoff in networks of cellular communication of the third generation technology multiple access with code division]. *Yubileynaya 70-ya Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya, posvyashchennaya Dnyu radio: sb. trudov.* [Anniversary 70th All-Russian Scientific and Technical Conference, dedicated to Radio Day: Proceedings of the Conference Title. St.-Petersburg, 21-29 april 2015]. St. Petersburg, Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy elektrotekhnicheskii universitet «LETI», 2015. No. 1. Pp. 319–320.

Information about authors:

Romashkova O.N., PhD, full professor, head of Department «Applied Informatics», Institute of mathematics, Informatics and natural Sciences, «Moscow City Pedagogical University (MGPU)»;
Samoylov V.E., post-graduate student of the Department «ATC on RT», «Moscow State University of railway engineering (MIIT)».

For citation: Romashkova O.N., Samoylov V.E. To the definition of packet speech transmission quality in mobile networks. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 3. Pp. 39–44. (In Russian)

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОДСИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ УСЛУГ

Буренин Андрей Николаевич,

д.т.н., доцент, главный специалист АО "Научно-исследовательский институт «Рубин»,
г. Санкт-Петербург, Россия, konferencia_asu_vka@mail.ru

Легков Константин Евгеньевич,

к.т.н., начальник кафедры автоматизированных систем управления
Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского,
г. Санкт-Петербург, Россия, constl@mail.ru

Левко Игорь Владимирович,

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

АННОТАЦИЯ

Государственной политикой в областях обороны, безопасности государства и поддержания в нем правопорядка существенная роль отводится различным сложным организационно-техническим системам специального назначения, которые требуют постоянного управления, учитывающего складывающиеся быстро меняющиеся условия эксплуатации. Как правило, управление такими системами реализуется посредством создаваемых автоматизированных систем управления, а для обеспечения непрерывности и поддержания требуемого уровня качества процессов управления системой, в составе автоматизированной системы управления предусматривается информационная подсистема, обеспечивающая должностным лицам органов управления и комплексам средств автоматизации предоставление требуемой номенклатуры информационных услуг, гарантирующих принятие обоснованных правильных решений по организации управления системой. Вместе с тем, функционирование самой информационной подсистемы, как сложной системы, в том числе в чрезвычайных условиях, предусматривает управление ею, для чего создается выделенная система управления, на которую возлагается решение ряда задач управления, среди которых наиболее важной является задача обеспечения эффективного функционирования, в т.ч. на основе создания и реализации методов управления процессами предоставления информационных услуг. При этом постоянно возрастающая сложность информационных подсистем и процессов их функционирования, чрезвычайно усложняет и организацию процессов управления самой подсистемой. Среди всех задач управления информационной подсистемой, задача управления ее функционированием является наиболее сложной, так как связана с необходимостью учета многих факторов, характеристик и параметров сложных процессов, протекающих в подсистеме. Поэтому при разработке методов управления функционированием информационной подсистемы целесообразно рассматривать эту задачу управления как комплексную, предусматривающую применение комплекса методов, каждый из которых используется в контуре управления систему управления при определенных условиях эксплуатации и обеспечивает либо наибольшую эффективность ее функционирования, либо эффективность не ниже требуемой.

Ключевые слова: информационная подсистема; эффективность функционирования; задачи управления; автоматизированная система управления; методы управления процессами предоставления услуг.

Для цитирования: Буренин А. Н., Легков К. Е., Левко И. В. Организация эффективного функционирования информационных подсистем автоматизированных систем управления сложными организационно-техническими объектами на основе методов управления процессами предоставления информационных услуг // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 3. С. 45-54.

Введение

Под управлением информационной подсистемой (ИПС) автоматизированной системы управления (АСУ) сложными организационно-техническими объектами (ОТО) будем понимать процессы организации такого целенаправленного воздействия на нее и ее компоненты, в результате которых ИПС (или требуемый ее компонент) переходит в требуемое (целевое) состояние [1–2, 4–5, 7–8, 10].

При этом постоянно возрастающая сложность информационных подсистем АСУ большинства ОТО и процессов их функционирования, чрезвычайно усложняет и организацию процессов управления ИПС.

Несмотря на то, что в качестве модели каждого из двух уровней архитектуры ИПС АСУ ОТО может быть рассмотрена мультисетевая модель обслуживания, значительное число способов организации управления сетями и услугами, которые известны в настоящее время [1–2], не могут быть применены при управлении ИПС в силу ее сложности, многозадачности, многоуровневости и мультисервисности (включая информационные сервисы). Поэтому необходимо предложить общий подход к формированию методов управления функционированием ИПС АСУ ОТО для разных классов ОТО, на основе которого получить требуемые методы управления.

Постановка задачи

При всех вариантах организации процессов управления функционированием, каждый из которых в той или иной степени определяет эффективность функционирования ИПС АСУ ОТО, только процессы управления, организованные на основе методов первой группы (рис. 1) непосредственно влияют на сами процедуры предоставления ИПС услуг.

При решении задач управления функционированием ИПС АСУ ОТО должны быть выполнены цели управления $D_{IP} = \{d_{IP1}, \dots, d_{IPp}\}$, что, в конечном итоге, должно гарантировать функционирование ИПС в целом и отдельных ее компонентов с требуемой эффективностью. При этом управление будем считать эффективным, если оно обеспечивает требуемую эффективность функционирования ИПС АСУ ОТО в различных условиях, в т.ч. в условиях воздействия на нее и систему управления различных естественных и преднамеренных возмущений и помех (включая кибератаки [3, 6, 9]).

В качестве показателя эффективности ИПС АСУ ОТО целесообразно взять некоторый функционал $\Phi(t, \mathbf{V}_{IP}, \mathbf{Z}_{IPsr}, \mathbf{U}_{IP})$, зависящий от объема запрашиваемых информационных услуг (ИУ), размеров и связности структуры ИПС АСУ ОТО, производительности серверов ИПС, пропускной способности виртуальных каналов, от алгоритмов функционирования ИПС и обслуживания требований, от надежности компонентов ИПС (составляют \mathbf{V}_{IP} — вектор фиксированных, невозмущенных параметров и характеристик ИПС АСУ ОТО), от значений нагрузки требований на получение ИУ, от характеристик и интенсивности возмущений, характеризующих целенаправленные и случайные разрушающие воздействия на компоненты ИПС, от воздействий средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ), от воздействий естественных помех, от отказов технических средств ИПС и осуществляемых кибератак на программно-аппаратные средства ИПС (составляют \mathbf{Z}_{IPsr} — вектор возмущающих параметров), от стратегий управления ИПС (составляют \mathbf{U}_{IP} — вектор управления, определяющий управляющие воздействия на компоненты ИПС, выполняемые СУ ИПС).

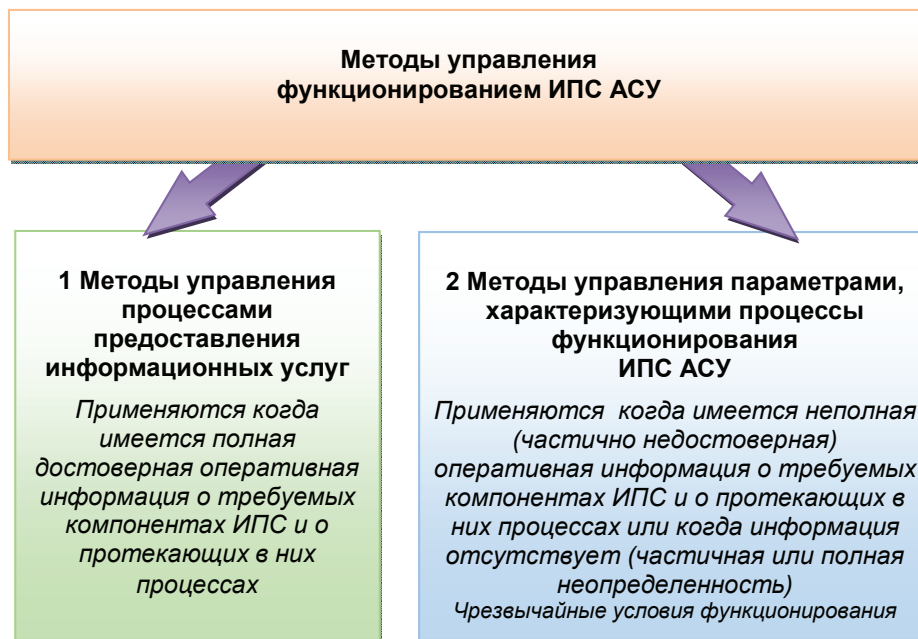


Рис. 1. Декомпозиция методов управления функционированием ИПС АСУ ОТО

Основной целью функционирования ИПС АСУ ОТО является предоставление ДЛ ОУ ОТО и КСА АСУ ОТО необходимых ИУ с требуемыми значениями показателей качества. Тогда если необходимый уровень эффективности функционирования ИПС обеспечивается в течение заданного времени T_3 с вероятностью не меньшей требуемой P_{τ} , несмотря на весь спектр воздействий на нее, то функционирование ИПС АСУ ОТО признается устойчивым, а управление ею — эффективным.

При прочих равных условиях выбор определенного управления $\mathbf{U}_{IP} = \mathbf{U}_{IP}^{fics}(t)$ обеспечивает вполне конкретное значение эффективности функционирования ИПС АСУ ОТО, т.е. вполне определенное значение показателя $\Phi[t, \mathbf{V}_{IP}, \mathbf{Z}_{IP Sr}, \mathbf{U}_{IP}^{fics}(t)]$. Решение задачи управления функционированием ИПС АСУ ОТО приводит либо к некоторой экстремальной задаче (1, a), либо к задаче, описываемой квантилью (1, b):

$$\begin{aligned} \Phi[t, \mathbf{V}_{IP}, \mathbf{Z}_{IP Sr}, \mathbf{U}_{IP}^{fics}(t)] &\rightarrow \max_{\mathbf{U}_{IP}^{fics}(t) \in \mathbf{U}_E} & a) \\ P\{\Phi[t, \mathbf{V}_{IP}, \mathbf{Z}_{IP Sr}, \mathbf{U}_{IP}^{fics}(t)] \geq \Phi_{Gr}\} &\geq P_{Gr\Phi} & b) \\ \mathbf{U}_{IP}^{fics}(t) &\leq R_{U_{IP}} \end{aligned} \quad (1)$$

Решение экстремальной задачи — некоторое управление $\mathbf{U}_{IP}^{opt}(t)$, являющееся оптимальным управлением функционированием ИПС АСУ ОТО. Решение задачи, заданной в виде квантили (выражение b) из (1) — некоторое управление, обеспечивающее эффективность функционирования ИПС не ниже требуемого с заданной вероятностью. В этих решениях использована модель ИПС АСУ ОТО и учтен ресурс, выделяемый на управление $R_{U_{IP}}$.

Исходя из целевого предназначения ИПС АСУ ОТО, организация адаптивного управления ее функционированием в сложных условиях обстановки, предполагает возможность гибкого оперативного распределения предоставляемых в реальном масштабе времени ИУ, обеспечивающего требуемую эффективность функционирования самой ОТО.

При этом обеспечение гибкости, масштабируемости и возможности маневрирования номенклатурой ИУ, необходимость в которых возникает в процессе оперативного управления ОТО, невозможно без рациональной организации процедур управления комплексом предлагаемых услуг (задача управления ресурсами информационных служб ИПС АСУ ОТО).

Ясно, что для выполнения конкретной z -й задачи управления ОТО, выполняемой в определенном интервале времени T_ω и в различных условиях эксплуатации, каждому ДЛ ОУ и КСА АСУ ОТО требуется переменный комплекс предоставляемых ИПС гарантированных ИУ, обеспечивающий соответствующий показатель эффективности функционирования ОТО. Каждая информационная служба ИПС, предоставляющая соответствующую i -ю ИУ при реализации выбранной стратегии управления, вносит свой вклад $\Phi_{iz}(T_\omega)$ «в копилку» показателя эффективности ОТО, определяемый в плоскости предоставляемых ИУ.

При этом весь переменный комплекс предоставляемых ИПС гарантированных ИУ обеспечит показатель эффективности ОТО:

$$\Phi_z(T_\omega) = f_z[\Phi_{1z}(T_\omega), \dots, \Phi_{iz}(T_\omega), \dots, \Phi_{kz}(T_\omega)]. \quad (2)$$

Исходя из (2) можно сформулировать следующую многокритериальную задачу по такой организации управления предоставлением ИУ (формирования комплекса предоставляемых ИУ), которая обеспечит ДЛ ОУ и КСА АСУ ОТО экстремум (или квантиль) показателю(ям) эффективности функционирования системы:

$$\begin{aligned} \text{extr}_{\mathbf{U}_{IP}^{fics}(t)} \Phi_z[t_\omega, \mathbf{V}_{IP}, \mathbf{Z}_{IP Sr}, \mathbf{U}_{IP}^{fics}(t)] &= \\ = \text{extr}_{\mathbf{U}_{IP}^{fics}(t)} f_z[\Phi_{iz}(t_\omega, \mathbf{V}_{IP}, \mathbf{Z}_{IP Sr}, \mathbf{U}_{IP}^{fics}(t)); &a) \\ P\{f_z[\Phi_{iz}[t_\omega, \mathbf{V}_{IP}, \mathbf{Z}_{IP Sr}, \mathbf{U}_{IP}^{fics}(t)] \geq \Phi_{Gr}^z\} &\geq P_{Gr\Phi}; \\ \forall t_\omega \in T_\omega, i = 1, \dots, N_z & \end{aligned} \quad (3)$$

В принципе, первая задача может быть решена методами многокритериальной оптимизации по Парето (решением задачи оптимизации является множество Парето) или оптимизацией по интегральному критерию, приведением к единому показателю как взвешенной сумме частных показателей (свертка) [11, 12–15]:

$$\Phi_z(T_\omega) = \sum_{r=1}^{N_z} \chi_r \Phi_{rz}(T_\omega). \quad (4)$$

Вторая задача, связанная с выбором управления, обеспечивающего выражение (3-b), становится актуальной, когда оптимизационная постановка трудно разрешима. При этом выбирается управление ОТО, гарантирующее значение показателя эффективности функционирования не хуже заданного с вероятностью не ниже допустимого значения.

Разработка методов управления процессами предоставления информационных услуг

Для конкретизации решения данной задачи будем считать, что каждая служба ИПС АСУ ОТО, привлекаемая к проведению некоторой функциональной операции ОТО, должна обеспечить соответствующим ДЛ ОУ и КСА АСУ ОТО определенный уровень ИУ, который требует проведения конечного множества технических операций, соответствующих организации этих служб (инсталляция данных о подключенных пользователях, аутентификация пользователей как при подключении к службе, так и при обращении к ней, проверка санкционированности запросов на обслуживание, обеспечение протоколов доступа, постановка в очередь на обслуживание, упорядочивание очереди ожидающих требований, обеспечение безопасности обслуживания, антивирусная защита данных пользователей и защита информационных ресурсов служб, процедуры поиска данных, процедуры обслуживания требований на получение ИУ и т.д.). В условиях функционирования

ОТО в сложной обстановке их параметры, в общем случае, являются случайными величинами, а случайное время предоставления соответствующей ИУ может быть получено на основе анализа основных схем информационного взаимодействия компонентов служб и будет равно сумме случайного числа N_i случайных значений времен проведения технических операций по предоставлению ИУ:

$$T_{IS}(i) = \sum_{j=1}^{N_i} t_{\text{tex op}}(i, j), \quad (5)$$

где $t_{\text{tex op}}(i, j)$ — случайное время проведения j -й технической операции по получению и предоставлению i -й ИУ.

Вместе с тем, учесть случайное число технических операций по предоставлению соответствующей ИУ на практике достаточно сложно, поэтому, т.к. для большинства используемых информационных служб ИПС АСУ ОТО дисперсии случайного числа технических операций и длительности их проведения, как правило, невелики, целесообразно использовать величины их средних значений $m_{N_i} = M[N_i]$ и $\bar{t}_{\text{tex op}}(i, j) = M[t_{\text{tex op}}(i, j)]$, т.е.:

$$\begin{aligned} T_{IS}(1) &= \sum_{j=1}^{m_{N_1}} t_{\text{tex op}}(1, j), \dots, T_{IS}(i) = \\ &= \sum_{j=1}^{m_{N_i}} t_{\text{tex op}}(i, j), \dots, T_{IS}(k) = \sum_{j=1}^{m_{N_k}} t_{\text{tex op}}(k, j). \end{aligned} \quad (6)$$

Приведем подход, предусматривающий выбор показателя эффективности как величины, отражающей своевременность предоставления ДЛ ОУ и КСА АСУ ОТО той или иной ИУ. В качестве показателя своевременности предоставления ДЛ ОУ и КСА АСУ ОТО ИУ может быть взято среднее время ее предоставления $T_{IS}(1), \dots, T_{IS}(i), \dots, T_{IS}(k)$.

Таким образом, оптимальные номенклатура и количество k , привлекаемых к выполнению функциональной операции ОТО информационных услуг определяются в процессе управления ресурсами ИПС АСУ ОТО, а обеспечение требуемой эффективности (или достижение экстремального ее значения) ИПС в рамках выбранного комплекса ИУ, осуществляется в процессе управления функционированием ИПС, а именно, в условиях отсутствия существенных деструктивных изменений в ИПС, в процессе управления предоставлением информационных услуг. При этом выбор конкретного вектора управления функционированием ИПС в части управления процессами предоставления информационных услуг $\mathbf{U}_{IPFunc}^{fics}(t)$ обеспечивает вполне конкретное значение эффективности функционирования ИПС АСУ ОТО, т.е. вполне определенное значение показателя

$$\Phi[t, \mathbf{V}_{IP}, \mathbf{Z}_{IP}, \mathbf{U}_{IP}^{fics}(t)] = T_{\Sigma i-k},$$

определяющего среднее время предоставления комплекса ИУ. При этом по-прежнему решение задачи управления функционированием ИПС АСУ ОТО в части управления

процессами предоставления информационных услуг, приводит либо к экстремальной задаче (10, a), либо к задаче, описываемой квантилью (10, b):

$$\begin{aligned} T_{\Sigma i-k} &\rightarrow \min_{\mathbf{U}_{IPFunc}^{fics}(t) \in \mathbf{U}_E} & a) \\ T_{\Sigma i-k} &\geq T_{Gr\Phi} & b) \\ \mathbf{U}_{IPFunc}^{fics}(t) &\leq R_{U_{IP}} \end{aligned} \quad (10)$$

Или подставляя значения для выбранного показателя, получим:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{m_{N_i}} M[t_{\text{tex op}}(i, j)] &\rightarrow \min_{\mathbf{U}_{IPFunc}^{fics}(t) \in \mathbf{U}_E} & a) \\ \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{m_{N_i}} M[t_{\text{tex op}}(i, j)] &\leq T_{Gr\Phi} & b) \\ \mathbf{U}_{IPFunc}^{fics}(t) &\leq R_{U_{IP}} \end{aligned} \quad (11)$$

Для организации управления процессами предоставления ИУ можно воспользоваться понятием высоты R_b^y каждого b -го узла предоставления услуг ИПС АСУ ОТО относительно другого y -го узла предоставления услуг, которую для данной задачи целесообразно определять следующим образом:

$$R_b^y = t_{ib} \frac{\partial \Pi_Q^i}{\partial Z_j^j}, \quad (12)$$

где Π_Q^i — общий показатель эффективности функционирования соответствующей i -й информационной службы ИПС АСУ ОТО;

Z_j^j — нагрузка на получение сервисов i -й информационной службы ИПС АСУ ОТО;

t_{ib} — среднее время предоставления услуг (обслуживания) i -й информационной службой b -го узла предоставления услуг ИПС АСУ ОТО.

Считая заданным величину Π_Q^i и известными значениями Z_j^j для всех информационных служб ИПС АСУ ОТО, и учитывая специфику ее организации, процедуры формирования плана управления функционированием ИПС АСУ ОТО в части управления процессами предоставления информационных услуг можно существенно упростить, используя концепцию решения оптимизационных задач, основанную на представлении объекта оптимизации неким рельефом, и реализовать их, путем построения на каждой выделенной уровневой сети обслуживания или сервисной уровневой сети (предоставляющей ИУ i -й информационной службы) подсистемы некоторого рельефа качества, в котором значение высот компонентов ИПС задается величинами t_{ib} . Сами процедуры формирования плана управления функционированием ИПС в части управления процессами предоставления информационных услуг строятся в соответствии с методом (рис. 2), который назовем методом управления процессами предоставления услуг на основе рельефов качества (МУПРК).

Метод МУПРК предусматривает представление каждой уровневой сети обслуживания ИПС АСУ ОТО (i -й информационной службы ИПС) в виде графа, на каждой ветви которого стрелками указываются направления сервисного обслуживания (направления предоставляемых ИУ). На сети выделяется один узел предоставления услуг (Y_o), по отношению к которому формируется рельеф качества (назовем его Q -рельеф соответствующей службы). Стрелкам, входящим в Y_o из узлов предоставления услуг, соседних с Y_o приписываем число q_1 ; всем стрелкам, исходящим из узла предоставления услуг, от которого отходит хотя бы одна стрелка, отмеченная числом q_1 , приписывается число q_2 и т.д. до тех пор, пока не отметятся все стрелки графа уровневой сети ИУ данного типа. После этого можно утверждать, что сформирован Q -рельеф (рис. 2).

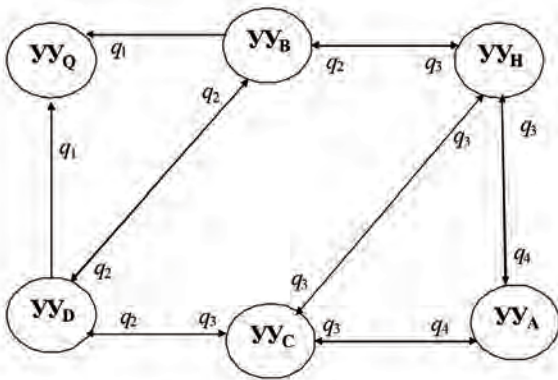


Рис. 2. Формирование Q -рельефа качества на графе сервисной уровневой сети ИПС АСУ ССН

Величины q_i на стрелках назовем Q -высотами качества. При этом стрелкам, исходящим из YU_Q , величины (Q -высота) Q -рельефа качества не приписываются.

Указанным способом формируют рельеф для каждого узла предоставления услуг уровневой сервисной сети ИПС АСУ ОТО. При этом ветвь уровневой сервисной сети ИПС АСУ ОТО имеет Q -высоту s_q , если соответствующая ей функция в Q -рельефе принимает значение s_q . Таким образом, каждая ветвь уровневой сервисной сети ИПС АСУ ОТО характеризуется $(N-1)$ высотами, где N – число узлов предоставления услуг в каждой уровневой сервисной сети ИПС.

Естественно, что поскольку в качестве Q -высоты s_q нами выбрана величина, равная среднему времени предоставления соответствующей ИУ t_{ib} , то управление процессами предоставления информационных услуг будет состоять в поиске наилучшего пути по рельефу к данному узлу предоставления услуг из любого другого узла, причем процедура состоит в отыскании в каждом промежуточном узле предоставления ИУ ветви с исходящей стрелкой, которой приписано (рис. 2) минимальное число q , что будет соответствовать минимальному значению среднего времени предоставления ИПС АСУ ОТО соответствующей ИУ. Очевидно, что с учетом (11-а), предложенный МУПРК позволит так организовать управление процессами предоставления информационных услуг, что будет обеспечи-

ваться максимальная эффективность функционирования ИПС при условии, что решение принимается по достоверной информации на момент его принятия.

Рельеф качества каждой сервисной уровневой сети ИПС АСУ ОТО представляется в системе управления в виде матриц рельефов. При этом для каждого z -го узла предоставления услуг формируется своя матрица рельефов вида:

$$R_z = \begin{matrix} Y_1 & \cdots & Y_N \\ \beta_{z,z_1} \begin{bmatrix} r_{z_1,1} & \cdots & r_{z_1,N} \\ \beta_{z,z_n} \begin{bmatrix} r_{z_n,1} & \cdots & r_{z_n,N} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad (13)$$

В матрице (13) элемент $r_{z,k}$ соответствует k -высоте ветви $\beta_{z,z}$, исходящей из YU_z . Матрицы рельефов являются основой для определения матриц выбора, определяющих очередность выбора пути получения ИУ из требуемых узлов услуг:

$$\Pi_E = \begin{matrix} Q \\ \beta_{EC} \begin{bmatrix} 1 & \cdots \\ \beta_{ED} \begin{bmatrix} 3 & \cdots \\ \beta_{EM} \begin{bmatrix} 4 & \cdots \\ \beta_{EF} \begin{bmatrix} 2 & \cdots \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{matrix}. \quad (14)$$

В случае произошедших изменений состояния ИПС АСУ ОТО, приводящих к изменениям в сервисной уровневой сети, сформированный Q -рельеф качества становится неверным и требуется его корректировка. Предложенный МУПРК предусматривает корректировку, идентичную процедурам формирования начального Q -рельефа качества. Другими словами, разработанный МУПРК включает три основные операции: операцию формирования Q -рельефа, операцию поиска и формирования плана получения ИУ, обеспечивающих максимум эффективности функционирования и операцию корректировки Q -рельефов качества в случае изменений в сервисных уровнях подсистемы.

Операция формирования начального Q -рельефа качества осуществляется всегда в начальный момент пуска системы управления ИПС АСУ ОТО.

Операция формирования плана управления процессами предоставления ИУ, основанного на получении матриц (14) первоначально осуществляется после окончания формирования Q -рельефов качества для всех сервисных уровней сетей ИПС АСУ ОТО, а затем после окончания процедур корректировки Q -рельефа.

Операция корректировки Q -рельефа качества осуществляется либо в момент обнаружения существенных с точки зрения управления ИПС изменений в сервисной уровневой сети (назовем метод событийным вариантом МУПРК), либо периодически с той или иной частотой повторения, определяемой заданным уровнем оперативности управления функционированием ИПС (назовем метод периодически обновляемым вариантом МУПРК). Понятно, что временные характеристики операции корректировки Q -рельефа влияют на показатели эффективности

функционирования ИПС АСУ ОТО, т.к. оказывают влияние на показатели своевременности получения ИУ.

С точки зрения реализации СУ ИПС АСУ ОТО, второй вариант более предпочтителен, т.к. предполагает посылки в модули управления только синхронизирующих команд на начало процедур корректировки, которые осуществляются уже автоматически в соответствии с заложенной схемой. При этом сама периодичность процедур корректировки может быть задана ДЛ ОУ в достаточно широких пределах (от 30–60 сек до нескольких десятков минут) в зависимости от складывающейся обстановки и выбранных элементов контроля в управляемой ИПС.

МУПРК предусматривает коррекцию Q -рельефа качества сервисной уровневой сети ИПС АСУ ОТО путем обмена между всеми компонентами СУ ИПС минимальными векторами качества q_{\min}^z . Минимальный вектор q_{\min}^z , который элемент управления, связанный с Y_z , посылает всем соседним узлам (причем каждому β -му узлу свой вектор), вычисляется по матрице рельефов R_z . При этом в каждом столбце матрицы R_z , соответствующей β -му Y_z , выбирается минимальный элемент. Из этих минимальных элементов формируется строка. Затем ко всем элементам строки добавляется значение высоты данного Y_z , за исключением того элемента, который соответствует Y_z , которому будет послана эта модифицированная строка (минимальный вектор), т.е.:

$$q_{\min}^{z\beta} = [\min r_{z,1} + \Delta q^z; \dots \min r_{z,\beta} + \Delta q^z; \dots \min r_{z,N} + \Delta q^z]. \quad (15)$$

Если какая-то виртуальная ветвь сервисной уровневой сети ИПС вышла из строя (подверглась атаке), то минимальный вектор не будет передан. Этот факт фиксируется обоими соседними Y_z в матрицах рельефов и идентифицируется как отказ связывающей информационной магистрали. При этом выход из строя самого Y_z нет необходимости идентифицировать отдельно. Если он вышел из строя, то это идентифицируется как выход из строя всех связанных с ним информационных ветвей.

В период между коррекциями рельефов качества в определенной сервисной уровневой сети (или в группе сетей) может существовать неправильный рельеф. Поэтому эффективность функционирования ИПС может существенно снижаться. Выбирая необходимую частоту обновления рельефа качества можно добиться требуемого уровня оперативности плана управления процессами предоставления информационных услуг.

Проведем анализ вероятностно-временных характеристик (ВВХ) предложенного МУПРК. В результате нескольких последовательных обменов минимальными векторами все узловые компоненты СУ ИПС будут оповещены о происшедших изменениях в сервисной уровневой сети и план распределения будет скорректирован. Пусть циклы обмена минимальными векторами качества осуществляются через равные промежутки времени T_ϕ — периоды переформирования плана управления процессами предоставлением информационных услуг. Время, через которое все матрицы рельефов качества изменятся после происшедшего изменения

в сервисной уровневой сети ИПС АСУ ОТО, назовем временем оповещения $t_{\text{он}}$, которое будет случайной величиной.

Максимальное значение $t_{\text{он}}$ получается тогда, когда изменение в сервисной уровневой сети ИПС произошло сразу же после окончания цикла обмена минимальными векторами качества:

$$\max t_{\text{он}} = T_\phi + t_b + t_{\text{пер}}, \quad (16)$$

где t_b — время вычислительных операции в КСА СУ ИПС; $t_{\text{пер}}$ — случайное время передачи информации об изменении всем Y_z сервисной уровневой сети.

Случайное время передачи зависит от времени передачи минимального вектора качества на одном участке t_1 и времени установления виртуального соединения t_y и составит:

$$t_{\text{пер}} = mt_1 + t_y. \quad (17)$$

Число последовательных посылок m минимальных векторов качества в каждом цикле обмена определяется связностью сервисной уровневой сети ИПС, а время t_1 — объемом минимального вектора V_q и скоростью передачи по виртуальному каналу сети управления ИПС v , т.е.:

$$t_{\text{пер}} = m \frac{V_q}{v} + t_y. \quad (18)$$

Объем минимального вектора качества зависит от числа Y_z сервисной уровневой сети N и максимального допустимого транзита η_m и может быть задан:

$$V_q = (N-1) \log_2 \eta_m \quad (19)$$

Таким образом, максимальное значение времени оповещения можно оценить выражением:

$$\max t_{\text{он}} = T_\phi + t_b + t_\phi + \frac{m(N-1) \log_2 \eta_m}{v}. \quad (20)$$

Минимальное значение времени $t_{\text{он}}$ получается тогда, когда изменение ситуации в сервисной уровневой сети ИПС АСУ ОТО произошло непосредственно перед началом цикла обмена минимальными векторами качества, т.е.:

$$\min t_{\text{он}} = t_b + t_\phi + \frac{m(N-1) \log_2 \eta_m}{v}. \quad (21)$$

Поскольку изменение ситуации в сервисной уровневой сети ИПС АСУ ОТО может произойти в любой момент времени между двумя циклами обмена минимальными векторами качества и эти процессы не коррелированы, то можно утверждать, что случайная величина $t_{\text{он}}$ равномерно распределена в интервале $[\min t_{\text{он}}, \max t_{\text{он}}]$ с плотностью распределения, равной $f(t_{\text{он}}) = \frac{1}{T_\phi}$ внутри него и $f(t_{\text{он}}) = 0$ за его пределами.

Тогда вероятность того, что сформированный Q — рельеф качества будет адекватно отражать ситуацию в сервисной уровневой сети ИПС АСУ ОТО составит:

$$P_{Q-R}^* = 1 - \exp \left\{ -k_{iz} M_{iz}^2 \left[T_\phi + t_b + t_\phi + t_y + \frac{m(N-1) \log_2 \eta_m}{v} \right] \right\} \quad (22)$$

Выражение (22) определяет вероятность того, что план управления процессами предоставлением информационных услуг в ИПС будет соответствовать ситуации, сложившейся в сервисной уровневой сети ИПС АСУ ОТО к моменту окончания процесса реформирования. В соответствии с (22) целесообразно так выбрать T_Φ , t_y и v , чтобы $P_{Q-R}^* \geq P_{Qgr} = 0,9 - 0,95$.

Рассмотрим процедуру формирования плана управления процессами предоставлением информационных услуг, когда в качестве значения единицы высоты взята величина оценки среднего времени предоставления и реализации ИУ. При этом матрица рельефов качества будет иметь следующий вид:

$$T_z = \begin{matrix} & Y_1 & \dots & Y_N \\ \beta_{z,z_1} & \begin{bmatrix} \bar{t}_{z_1,1} & \dots & \bar{t}_{z_1,N} \\ \bar{t}_{z_n,1} & \dots & \bar{t}_{z_n,N} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (23)$$

Матрица T_z , которая формируется в СУ ИПС для каждого узла предоставления услуг Y_z должна полностью определять план управления процессами предоставления информационных услуг на заданный момент времени $t_0 \leq t < t_0 + T_\Phi$. Так, для каждого возможного (виртуального) поступлении требования на обслуживание в адрес z -го узла предоставления услуг в матрице T_z выбирается столбец, соответствующий этому узлу, и в нем ищется минимальный элемент, затем второй по значению, третий по значению и т.д. при условии выполнения требований по своевременности, т.е. выбираемый элемент матрицы T_z не должен быть больше допустимой величины:

$$\begin{aligned} t_{4i\beta j}^* &= \{t_{4i\beta j}(1), t_{4i\beta j}(2), t_{4i\beta j}(3), \dots, t_{4i\beta j}(n)\} \\ \forall t_{4i\beta j}(\eta) &\leq t_{dop}. \end{aligned} \quad (24)$$

Строки матрицы T_z , в которых расположены выбранные элементы, и определяют план управления процессами предоставления информационных услуг последовательно выбором сервисных направлений в ИПС: минимальный элемент матрицы T_z определяет сервисное направление первого выбора, т.е. наиболее приоритетное, определяющее оптимальное управление, соответствующее выражению (11-а), второй по значению элемент определяет сервисное направление второго выбора и т.д., определяющие эффективное управление, соответствующее выражению (11-б). Таким образом, предложенный МУПРК совмещает оптимальное и эффективное управления процессами предоставления информационных услуг в ИПС АСУ ОТО. На основе этих данных формируется план управления процессами предоставления информационных услуг, задаваемый множеством матриц выбора:

$$\Pi_{IP} = \{\Pi_{EZ}\} = \left\{ \begin{matrix} \beta_{EZ}^{opt} & 1 \\ \beta_{EZ}^{ef1} & 2 \\ \beta_{EZ}^{ef2} & 3 \\ \dots & \dots \\ \beta_{EZ}^{efN} & N \end{matrix} \right\}. \quad (25)$$

Естественно, что в реальных ИПС АСУ ОТО, при реализации вариантов построения системы управления ИПС, обычно ограничиваются тремя вариантами последовательностей выбора, т.е. в этом случае матрицы (25) будут иметь всего по три строки:

$$\Pi_{IP} = \{\Pi_{EZ}\} = \left\{ \begin{matrix} \beta_{EZ}^{opt} & 1 \\ \beta_{EZ}^{ef1} & 2 \\ \beta_{EZ}^{ef2} & 3 \end{matrix} \right\}. \quad (26)$$

Таким образом, если ОТО функционирует в условиях отсутствия существенных деструктивных изменений, что позволяет достаточно оперативно получать и использовать информацию о состоянии ИПС АСУ ОТО для формирования рельефов качества, адекватных реальной ситуации, то предложенный в статье МУПРК обеспечивает оптимальное управление процессами предоставления информационных услуг ДЛ ОУ и КСА АСУ ОТО, при срыве которого осуществляется автоматический переход на эффективное управление, обеспечивающее гарантированные значения показателей эффективности функционирования ИПС (пути обслуживания второго и третьего выбора).

В условиях возросшей интенсивности воздействий, однако, не приводящих к существенным деструктивным изменениям в ИПС, что все-таки позволяет получать оперативную информацию о состоянии подсистемы, когда некоторые ИУ предоставляются ряду ДЛ ОУ ОТО и КСА АСУ ОТО с показателями качества ниже допустимого уровня, необходим переход либо к методам второй группы (рис. 1), либо применение модернизированного МУПРК-М, позволяющего также получать ИУ с более низкими показателями качества. При этом формируется план управления процессами предоставления информационных услуг, задаваемый множеством модернизированных матриц выбора, в которых добавлены элементы, показывающие направления получения требуемых ИУ с реально сложившимися показателями качества, уступающие требуемым значениям:

$$\Pi_{IP}^M = \{\Pi_{EZ}^M\} = \left\{ \begin{matrix} \beta_{EZ}^{opt} & 1 \\ \beta_{EZ}^{ef1} & 2 \\ \beta_{EZ}^{ef2} & 3 \\ \beta_{EZ}^{Ldq3} & 4 \\ \beta_{EZ}^{Ldq4} & 5 \end{matrix} \right\}. \quad (27)$$

Эти добавочные элементы матриц Π_{EZ}^M позволяют осуществлять обслуживание ДЛ ОУ ОТО и КСА АСУ ОТО даже тогда, когда в силу достаточно высокой интенсивности преднамеренных воздействий на ОТО, АСУ ОТО и ИПС АСУ ОТО ряд пользователей не имеют возможности получения ИУ с допустимым уровнем качества, т.е. для отдельных узлов предоставления услуг Y_k матрицы выбора будут иметь следующий вид:

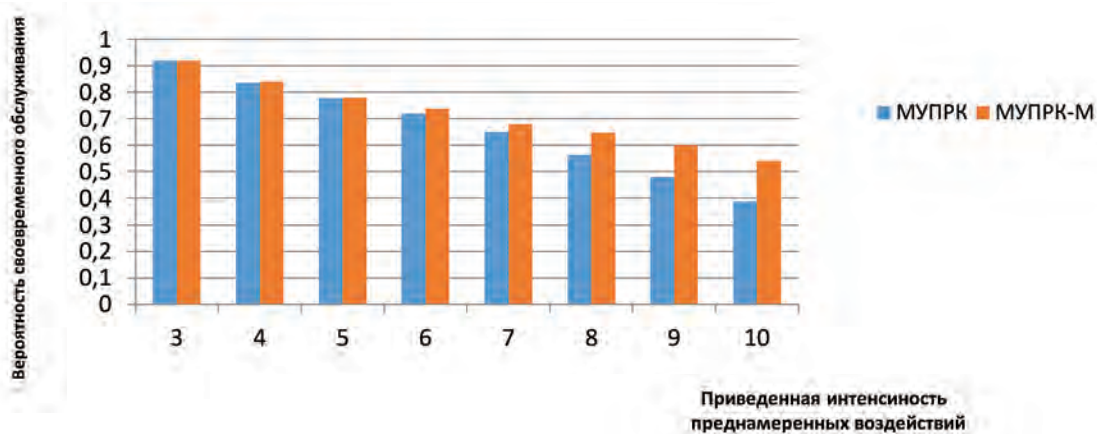


Рис. 3. Преимущества МУПРК-М

$$\Pi_{Ek}^M = \left\{ \begin{array}{l} 0 \ 1 \\ 0 \ 2 \\ 0 \ 3 \\ \beta_{Ek}^{Ldq3} \ 4 \\ \beta_{Ek}^{Ldq4} \ 5 \end{array} \right\} \forall Y_k = \{Y_1, \dots, Y_N\} \rightarrow \forall t_{i\beta_j}(k) > t_{доп}. \quad (28)$$

Предложенный МУПРК-М обеспечивает заметное повышение значений показателя эффективности функционирования ИПС АСУ ОТО при возрастании интенсивности воздействий (рис. 3).

Заключение

Таким образом, функционирование ИПС АСУ ОТО, как сложной системы, в том числе в чрезвычайных условиях, предусматривает управление ею, для чего создается выделенная система управления СУ ИП, на которую возлагается решение ряда задач управления, среди которых наиболее важной является задача обеспечения эффективного функционирования ИПС, в т.ч. на основе создания и реализации методов управления процессами предоставления информационных услуг. Предложенный метод управления процессами предоставлением услуг на основе рельефов качества обеспечивает заметное повышение значений показателя эффективности функционирования ИПС АСУ ОТО при возрастании интенсивности воздействий по сравнению с существующими методами.

Литература

1. Буренин А.Н., Курносов В.И. Теоретические основы управления современными телекоммуникационными сетями / под ред. д-ра техн. наук, проф. В.И. Курносова. М.: Наука, 2011. 464 с.
2. Буренин А.Н., Легков К.Е. Современные инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления. М.: ИД Медиа Паблшер. 348 с.
3. Паршенков Н.Я., Тихонова О.В. Комбинированный метод динамического управления потоками на коммутируемой

сети связи. В кн.: Сети связи и дискретные устройства управления. М.: Наука. 1976.

4. Баруча-Рид А.Т. Элементы теории марковских процессов и их приложения: пер. с англ. / под ред. А.Н. Ширяева. М.: Наука, 1969. 512 с.

5. Буренин А.Н., Легков К.Е. Управление эффективностью инфокоммуникационных систем специального назначения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 6. № 3. С. 29–34.

6. Исьянов В.М., Лазарев В.Г., Паршенков Н.Я. Децентрализованный способ динамического распределения информации на автоматически коммутируемых сетях связи. В кн.: Автоматы и управление сетями связи. М.: Наука, 1971. С. 68–71.

7. Бутрименко А.В., Гинзбург С.Л. Об одном способе децентрализованного динамического распределения потоков информации. В кн.: Информационные сети и коммутация. М.: Наука, 1968. С. 32–69.

8. Захаров Г.П. Методы исследования сетей передачи данных. М.: Радио и связь. 1982. 208 с.

9. Сатовский Б.Л. Управление качеством обслуживания в мультисервисных сетях общего пользования // Вестник связи. 1999. № 4.

10. Новиков С.Н. Классификация методов маршрутизации в мультисервисных сетях связи // Вестник СибГУТИ. 2013. № 1.

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

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

13. Аванесов М.Ю., Присяжнюк С.П. Оперативное управление потоками данных в мультисервисных сетях связи. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2007. 81 с.

14. Лазарев В.Г., Саввин Н.Г. Сети связи, управление, коммутация. М.: Связь, 1973. 264 с.

15. Беллман Р., Гликсберг И., Гросс О. Некоторые вопросы математической теории процессов управления: пер. с англ. М.: ИИЛ, 1962. 336 с.

EFFECTIVE FUNCTIONING ORGANIZATION OF INFORMATION SUBSYSTEMS OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FOR COMPLEX ORGANIZATIONAL-TECHNICAL OBJECTS BASED ON THE METHODS OF PROCESS MANAGEMENT OF INFORMATION SERVICES PROVISION PROCESSES CONTROL

Andrey N. Burenin,

St. Petersburg, Russia, konferencia_asu_vka@mail.ru

Konstantin E. Legkov,

St-Petersburg, Russia, constl@mail.ru

Igor V. Levko,

St. Petersburg, Russia, levko_iv@mail.ru

ABSTRACT

In state policy in the areas of defense, state security and maintaining law and order significant role is role for a variety of complex organizational-technical systems for special purposes that require constant management to deal with evolving fast changing operating conditions. Typically, management of such a system is implemented by generated automated control systems, and to ensure continuity and maintain the required level of the quality management system of the automated control system information subsystem is provided, providing the required item of information services to official controls and automation systems providing guarantee making justified correct decisions for the organization of system control. However, the functioning of the information subsystem as a complex system, including in emergencies, assume its management, for what dedicated control system is created, which is vested with the decision of management tasks, and among them the most important is the task of the effective functioning ensuring, through the establishment and implementation of methods of the processes management for the provision of information services. Herewith ever-increasing complexity of information subsystems and processes of their operation extremely complicate the organization of processes of the management of the subsystem itself. Among all the tasks of the information subsystem management, the task of its operation control is the most difficult, since it is connected with the necessity of taking into account many factors, the characteristics and parameters of complex processes occurring in the subsystem. Therefore, in developing methods of functioning management of the information subsystem it is advisable to consider the control problem as a complex, involving the application of complex methods, and each of them is used in the control loop of the control system under certain operating conditions and provides either the highest efficiency or efficiency not lower than required.

Keywords: information system; functioning efficiency; management tasks; automated control system; methods of the service provision processes control.

References

1. Burenin A.N., Kurnosov V.I. *Teoreticheskie osnovy upravleniya sovremennymi telekommu-nichionnymi setyami* [Theoretical bases of management of modern telecommunication net-works]. Moscow: Nauka. 2011. 464 p. (In Russian)
2. Burenin A.N., Legkov K.E. *Sovremennye infokommunikatsionnye sistemy i seti spetsial'nogo naznacheniya. Osnovy postroeniya i upravleniya: Monografiya* [Modern infocommunication systems and special purpose networks. Basics of creation and control]. Moscow, Media Publisher, 2015. 348 p. (In Russian)
3. Parshenkov N. Ya. Tihonova O.V. *Kombinirovaniy metod dinamicheskogo upravleniya potokami na kommutiruemy seti svyazi* [Combined method of dynamic control of flows on a switched communication network]. *Seti svyazi i diskretnie ustroystva upravleniya*. M.: Nauka. 1976. Pp. 42-59. (In Russian)
4. Barucha Reid A.T. *Elements of the Theory of Markov Processes and their Applications*, McGrawHill, New York, Toronto, London, 1960. 157 p.
5. Burenin A.N., Legkov K.E. *Effektivness control of infocommunication systems for special purposes*.

- T-comm.* 2014. Vol. 6. No. 3. Pp. 29-34. (In Russian)
6. Isyanov V. M., Lazarev V.G., Parshenkov N. Ya. *Detsentralizovannyi sposob dinamicheskogo raspredeleniya informatsii na avtomaticheski kommutiruemyykh setyakh svyazi. Avtomaty i upravlenie setyami svyazi* [Decentralized way of dynamic information distribution on automatically switched networks. Machine guns and management of communication networks.] Moscow: Nauka, 1971. Pp. 68-71. (In Russian)
 7. Butrimenko A. V., Ginzburg S.L. *Ob odnom sposobe detsentralnogo dinamicheskogo raspredeleniya potokov informatsii. Informatsionnye seti i kommutatsii* [About one method of decentralized dynamic distribution of information flows. Information networks and switching] Moscow: Nauka. 1968. Pp. 32-69. (In Russian)
 8. Zaharov G.P. The methods of observation of the data transmission networks. Moscow. Radio and communication. 1982. 208 p. (In Russian)
 9. Satovsky B.L. Upravlenie kahestvom obsluzhivaniya v multiservisnykh setyakh obshchego pol'zovaniya [Quality of service management in multiservice networks of general use] *Vesnik svyazi* [Messenger of communication]. 1999. No 4. (In Russian)
 10. Novikov S.N. Classification of routing methods in multiservice communication networks. *Vestnik SibGUTI*. 2013. No. 1. Pp. 57-67. (In Russian)
 11. Lanne A.A., Ulakhovich D.A. *Mnogokriterialnaya optimizatsiya* [Multi-criteria optimization]. Leningrad: VAS, 1984. 87 p. (In Russian).
 12. Ralfa G. *Analiz resheniy. Vvedenie v problemu vybora v usloviyah neopredelennosti* [Analysis of decisions. Introduction in a choice problem in the conditions of uncertainty]. Moscow: Nauka. 1977. 408 p. (In Russian)
 13. Avanesov M.Y., Prisyazhnyuk S.P. *Operativnoe upravlenie potokami danih v multiservisnykh setyakh svyazi* [Data flow operational control in multiservice communication networks]. Saint-Petersburg. Baltic State Tech. University., 2007. 81 p. (In Russian).
 14. Lazarev V.G., Savvin N.G. *Seti svyazi, upravlenie, kommutatsiya* [Communication networks, control, switching]. Moscow: Svyaz'. 1973. 264 p. (In Russian)
 15. Bellman I.R.E., Glicksberg I., Gross O.A. *Some aspects of the mathematical theory of control processes*. Santa Monika: Rand corporation, 1958, 310 p.

Information about authors:

Burenin A. N., PhD, Docent, chief specialist of JSC «Research Institute «Rubin»;
 Legkov K. E., PhD, Head of the Department of automated systems of control, Military Space Academy;
 Levko I. V., PhD, associate professor of the Department of automated systems of control, Military Space Academy.

For citation: Burenin A. N., Legkov K. E., Levko I. V. Effective functioning organization of information subsystems of automated control systems for complex organizational-technical objects based on the methods of process management of information services provision processes control. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 3. Pp. 45-54. (In Russian)



СИСТЕМА ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ НА БАЗЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ УЧЕБНО- МЕТОДИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ, ИНТЕГРИРОВАННЫХ В КИБЕРСРЕДУ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Верхова Галина Викторовна,

д.т.н., профессор, заведующий кафедры Автоматизации предприятий связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург, Россия, galina500@inbox.ru

Акимов Сергей Викторович,

к.т.н., доцент кафедры Автоматизации предприятий связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург, Россия, akimov-sv@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты исследований в области создания интерактивных мультимедийных учебно-методических комплексов и формирования единой академической киберсреды на их основе. Рассмотрены проблемы, возникающие при внедрении и использовании в учебном процессе современных систем электронного обучения, показаны пути их решения. Показано, что в основу единой академической киберсреды должны быть положены три базовых принципа: агентности, информационного самообслуживания и управляемой информационной открытости. Данные принципы делают киберсреду кардинально отличной от современных корпоративных информационных систем. Интерактивные мультимедийные учебно-методические комплексы ориентированы на формирование единого образовательного пространства учебного заведения и призваны системно объединить процессы разработки учебно-методических материалов, проведения занятий, выполнения студентами индивидуальных и групповых заданий, включая регулярное прохождение тестирования, проводимого в автоматическом режиме. Особенностью рассматриваемых комплексов является их глубокая интеграция в киберсреду виртуальных предприятий.

Внедрение в учебный процесс разрабатываемой системы обеспечит:

- единую информационную среду представления учебно-методических материалов, выполненных с привлечением новейших технологий;
- а имдекватную информационную поддержку индивидуальных траекторий обучения и сетевой формы реализации образовательных программ;
- предоставление студентам возможности изучать дисциплины наиболее удобным способом, с учетом их знаний и индивидуальных особенностей восприятия информации (текстовой, визуальной в виде статической картинки или видеоряда), выполнять непрерывную проверку и корректировку усвоения материала с использованием тренажеров и автоматизированных тестов;
- унификацию представления данных, входящих в состав электронного контента дисциплины, упрощение контроля полноты информации, ее соответствие компетенциям, на приобретение которых направлена дисциплина, сокращение трудоемкости модификации учебно-методических материалов;
- учет динамики академических достижений, личностного и профессионального роста учащихся на базе компетентностно-ориентированной квалиметрической модели на протяжении всего процесса обучения, а также интегральную оценку качества электронных образовательных материалов, учитывающую как внутренние (полнота и качество материала), так и внешние (динамика академических достижений учащихся) показатели;
- формирование междисциплинарного обменного фонда электронных учебно-методических и контрольно-измерительных материалов, создание единой электронной библиотеки образовательных ресурсов, тиражирование опыта ведущих преподавателей.

Ключевые слова: интерактивный учебно-методический комплекс; система электронного обучения; технологии виртуальных предприятий; киберсреда; единое информационное образовательное пространство; мультимедийный образовательный контент.

Для цитирования: *Верхова Г.В., Акимов С.В. Система электронного обучения на базе интерактивных мультимедийных учебно-методических комплексов, интегрированных в киберсреду виртуальных предприятий // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 3. С. 55-62.*

Введение

Современные инфокоммуникационные системы представляют собой сложные географически распределенные, развивающиеся во времени системы, проектирование, модернизация и обслуживание которых требует высококвалифицированных специалистов, обладающих профессиональной мобильностью, готовых и способных к непрерывному обучению на протяжении всей профессиональной карьеры. Решение задачи кадрового обеспечения отрасли связи требует существенной модернизации системы подготовки будущих специалистов, привлечения новых методов и технологий обучения, учитывающих новейшие достижения в науке и технике.

Успешное освоение дисциплины требует организации учебного процесса, учитывающей индивидуальные особенности учащихся и обеспечивающей вовлеченность студента в учебный процесс, что можно добиться лишь путем привлечения интерактивных форм обучения и отказа от устаревших форм документооборота, включая предоставление отчетов на бумажных носителях. Данные условия могут быть выполнены в рамках системы электронного обучения, базирующейся на интерактивных мультимедийных учебно-методических комплексах и технологиях виртуальных предприятий. Особенностью технологий виртуальных предприятий является высокая гибкость в управлении отношениями между участниками, поддержка географически распределенных коллективов, устранение потребности в дублировании информации и сведение к минимуму рутинной работы, поэтому построение информационных систем высшего и среднего образования целесообразно реализовывать на их основе.

Современное состояние и перспективы развития систем электронного обучения

Несмотря на наличие корпоративных информационных систем университетов, научных центров, систем научно-технической информации и академических интернет-сообществ, эти системы являются замкнутыми, в следствие чего следует признать, что в настоящий момент единое академическое информационное пространство отсутствует, что отрицательно сказывается на научных и образовательных процессах [1–2]. В результате сложившейся ситуации затруднена координация в направлениях проводимых и планируемых научных исследований, рациональном использовании интеллектуальных и материальных ресурсов. Научные сотрудники вынуждены значительную часть времени тратить на выполнение низкоквалифицированной работы, заключающейся в заполнении всевозможных бланков и подготовке отчетов; не осуществляется непрерывная информационная поддержка научных работников и экспертов на протяжении всей творческой карьеры.

Несмотря на эффективность применения существующих систем электронного обучения при подготовке современных специалистов, отмечается ряд нерешенных проблем, среди которых отсутствие электронного контента и, как следствие, отсутствие единой информационно-

образовательной среды; неготовность большинства преподавателей к работе с электронными образовательными ресурсами, недостаточное количество специалистов в области электронного обучения, способных обеспечить квалифицированную поддержку преподавателям и студентам [3]. Решение данных проблем может обеспечить внедрение информационной среды, поддерживающей все этапы и процессы жизненного цикла электронных образовательных ресурсов, включая электронные курсы для преподавателей и тьюторов. Также отмечается недостаточная адаптивность существующих систем к индивидуальным особенностям и интересам студентов, что отрицательно сказывается на их мотивации [4].

Существующие системы электронного и дистанционного обучения в недостаточной степени ориентированы на использование в учебном процессе сетевых ресурсов [5], включая электронные социальные системы [6–7]. Эти проблемы могут быть решены с помощью создания системы электронного обучения, в которой образовательные ресурсы функционируют в среде, построенной по принципу открытых электронных социальных систем, допускающей информационное взаимодействие с другими электронными системами (принципы агентности и управляемой информационной открытости).

Современные системы электронного образования, такие как Moodle, BbLearn, Canvas, в первую очередь ориентированы на управление учебным процессом, включая процесс автоматической проверки знаний, и образовательным контентом, и не позволяют создать единую образовательную киберсреду, в которой осуществляется постоянная оценка динамики академических успехов обучающихся, а также качества самих образовательных ресурсов (учебно-методических комплексов). Поэтому логично предположить, что развитие технологий электронного обучения будет идти по пути создания локальных образовательных сред, обеспечивающих комплексную автоматизацию и информатизацию учебных процессов, причем эти среды будут интегрированы в единую глобальную академическую киберсреду, обеспечивающую сквозную информационную поддержку участников на протяжении всей профессиональной карьеры. По сравнению с существующими системами электронного обучения, предлагаемая в статье система электронного образования на базе интерактивных мультимедийных учебно-методических комплексов, интегрированных в киберсреду виртуальных предприятий, обладает следующими преимуществами:

- все электронные образовательные ресурсы интегрированы в единую среду, построенную по принципу электронных социальных систем, которая ориентирована на интеграцию в единое информационное пространство и поддержку участников на всех этапах профессиональной карьеры [8];

- электронные учебные ресурсы формируются на базе единой многоаспектной модели учебной дисциплины [9], системно объединяющей различные формы представления учебных и контрольно-измерительных материалов,

систематизированных по блочно-модульному принципу, образуя единую информационную среду, обеспечивающую поддержку индивидуальных траекторий обучения;

– обеспечивается учет динамики академических достижений, личностного и профессионального роста учащегося на базе компетентностно-ориентированной квалитметрической модели на протяжении всего процесса обучения;

– существуют встроенные механизмы оценки качества электронного образовательного контента, учитывающие как внутренние (полнота и качество материала), так и внешние (динамика академических достижений учащихся) показатели.

Киберсреда виртуальных предприятий

В условиях перехода к постиндустриальному обществу необходимо наличие единой киберсреды, обеспечивающей непрерывную поддержку отдельных участников на всем протяжении профессиональной карьеры, в которой будут максимально автоматизированы рутинные операции, выполнение которых в настоящий момент отнимает значительную часть времени. Начав свой творческий путь в роли абитуриента, затем бакалавра, выпускник может продолжить обучение в магистратуре в другом вузе. При этом вся необходимая информация будет импортирована в информационную систему или путем непосредственного межвузовского обмена, либо через академическую социальную сеть, что справедливо и для дальнейшей трудовой деятельности выпускника: вся существенная информация о его академической активности, компетенциях, сохраняется в его электронном профиле (рис. 1).

В основу киберсреды виртуальных предприятий, разработанной коллективом кафедры автоматизации

предприятий связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича и ООО «Инновационные технологии», положены три базовых принципа: 1) агентности, 2) информационного самообслуживания и 3) управляемой информационной открытости [10]. Принцип агентности предполагает формирование мультиагентной сети, в которой каждый участник (юридическое или физическое лицо) самостоятельно регистрируется в виде независимого агента, имея полный контроль над собственным информационным профилем и управлением информационными связями с другими агентами, установка которых осуществляются по запросу с последующим подтверждением. Все участники (агенты) киберсреды являются равноправными вне зависимости от их положения в иерархии корпоративных отношений. Информационное самообслуживание подразумевает размещение информации автором, в донесении которой до ограниченного или неограниченного числа лиц он заинтересован (управляемая информационная открытость).

Данные принципы делают киберсреду кардинально отличной от современных корпоративных информационных систем, имеющих централизованное управление, при котором регистрация сотрудников, формирование структуры предприятия и управление правами доступа осуществляется из единого центра. Жесткая централизация корпоративных информационных систем отрицательно сказывается на актуальности информации. В децентрализованной киберсреде обеспечивается большая гибкость, а, следовательно, и оперативность в представлении актуальной информации, так как каждый участник, являющийся владельцем информации и заинтересованным лицом в ее доведении до ограниченного или неограниченного круга лиц, обеспечит ее актуальность.



Рис. 1. Информационная поддержка специалиста на протяжении профессиональной карьеры

Интерактивный мультимедийный учебно-методический комплекс

На рис.2 представлена структура интерактивного мультимедийного учебно-методического комплекса, положенного в основу системы электронного обучения. Данный комплекс ориентирован на формирование единого образовательного пространства учебного заведения и призван системно объединить процессы разработки учебно-методических материалов, проведение занятий, выполнение студентами индивидуальных и групповых заданий, включая регулярное прохождение тестирования, проводимого в автоматическом режиме (рис. 3). Особенностью комплекса является его глубокая интеграция в киберсреду виртуальных предприятий, реализованную в системе ЕУ-ИК (рис. 4), в частности, комплекс использует систему авторизации и коммуникационные средства данной среды.

Согласно идеологии построения системы управления мультимедийным контентом, лабораторная работа реализуется в виде относительно независимого модуля, содержащего все интерактивные учебно-методические материалы и фонды оценочных средств, необходимые для приобре-

тения студентом определенных навыков. Работа содержит несколько небольших экспериментов, управление которыми выполняется в одноименном разделе системы. Раздел «Эксперименты» содержит описание эксперимента, указания к его выполнению, задания на выполнение эксперимента по вариантам, а также пример выполнения эксперимента в виде слайд-шоу и видео. Каждая лабораторная работа может содержать тесты для допуска к выполнению работы и для защиты (рис. 5).

Управление правами доступа к контенту лабораторной работы осуществляется в разделе «Администрирование», где назначаются роли разработчика методических указаний к выполнению лабораторной работы, а также тьюторов, непосредственно руководящих процессом выполнения студентами лабораторных работ. Основными ролями являются: ответственный разработчик, разработчик, оператор и тьютор. Ответственный разработчик является инициатором создания мультимедийных методических указаний к выполнению лабораторной работы и имеет максимальные права и назначает роли всем остальным участникам процесса разработки и использования учебно-

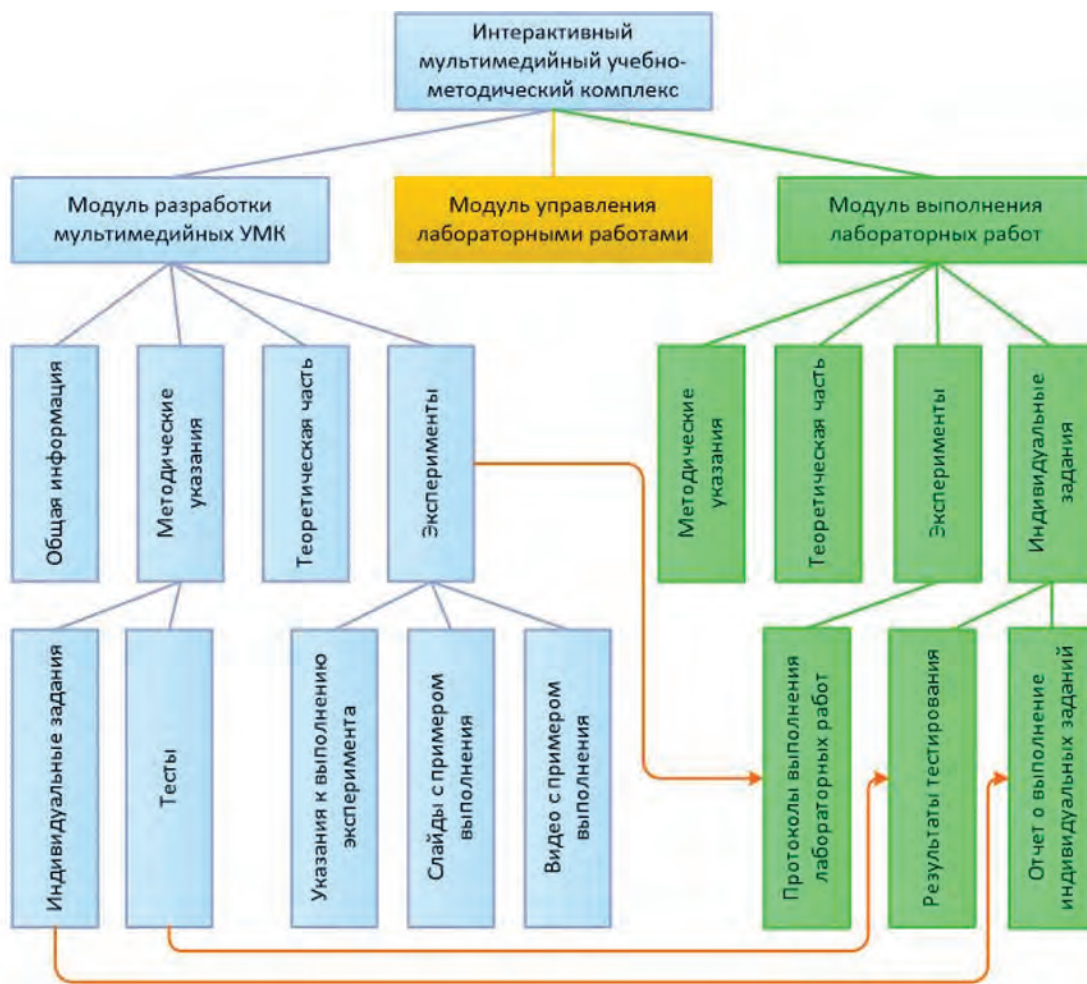


Рис. 2. Структура мультимедийного учебно-методического комплекса



Рис. 3. Единое информационное образовательное пространство

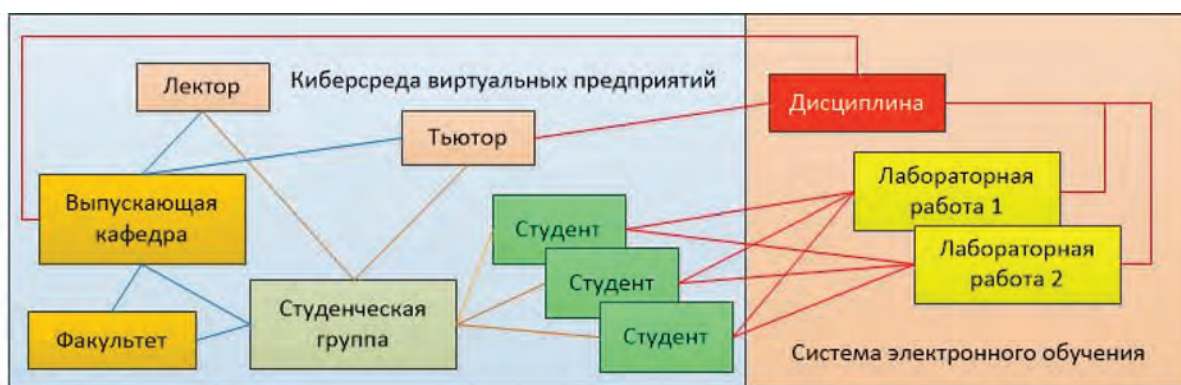


Рис. 4. Интеграция мультимедийного учебно-методического комплекса в киберсреду виртуальных предприятий

методических материалов по данной лабораторной работе. Разработчик обладает всем необходимым набором прав для создания и редактирования мультимедийного контента данной лабораторной работы; оператор является техническим специалистом, помогающим разработчикам вводить материалы в систему, он обладает правами, аналогичными правам разработчика, однако его фамилия не отображается среди авторов учебно-методических материалов.

Заключение

Внедрение в учебный процесс разрабатываемой системы обеспечит:

- единую информационную среду представления учебно-методических материалов, выполненных с привлечением новейших технологий;
- адекватную информационную поддержку индивидуальных траекторий обучения и сетевой формы реализации образовательных программ;
- предоставление студентам возможности изучать дисциплины наиболее удобным способом, с учетом их знаний и индивидуальных особенностей восприятия информации (текстовой, визуальной в виде статической картинки или

видеоряда), выполнять непрерывную проверку и корректировку усвоения материала с использованием тренажеров и автоматизированных тестов;

- унификацию представления данных, входящих в состав электронного контента дисциплины, упрощение контроля полноты информации, ее соответствие компетенциям, на приобретение которых направлена дисциплина, сокращение трудоемкости модификации учебно-методических материалов;

– учет динамики академических достижений, личностного и профессионального роста учащихся на базе компетентностно-ориентированной квалиметрической модели на протяжении всего процесса обучения, а также интегральную оценку качества электронных образовательных материалов, учитывающую как внутренние (полнота и качество материала), так и внешние (динамика академических достижений учащихся) показатели;

- формирование междисциплинарного обменного фонда электронных учебно-методических и контрольно-измерительных материалов, создание единой электронной библиотеки образовательных ресурсов, тиражирование опыта ведущих преподавателей.

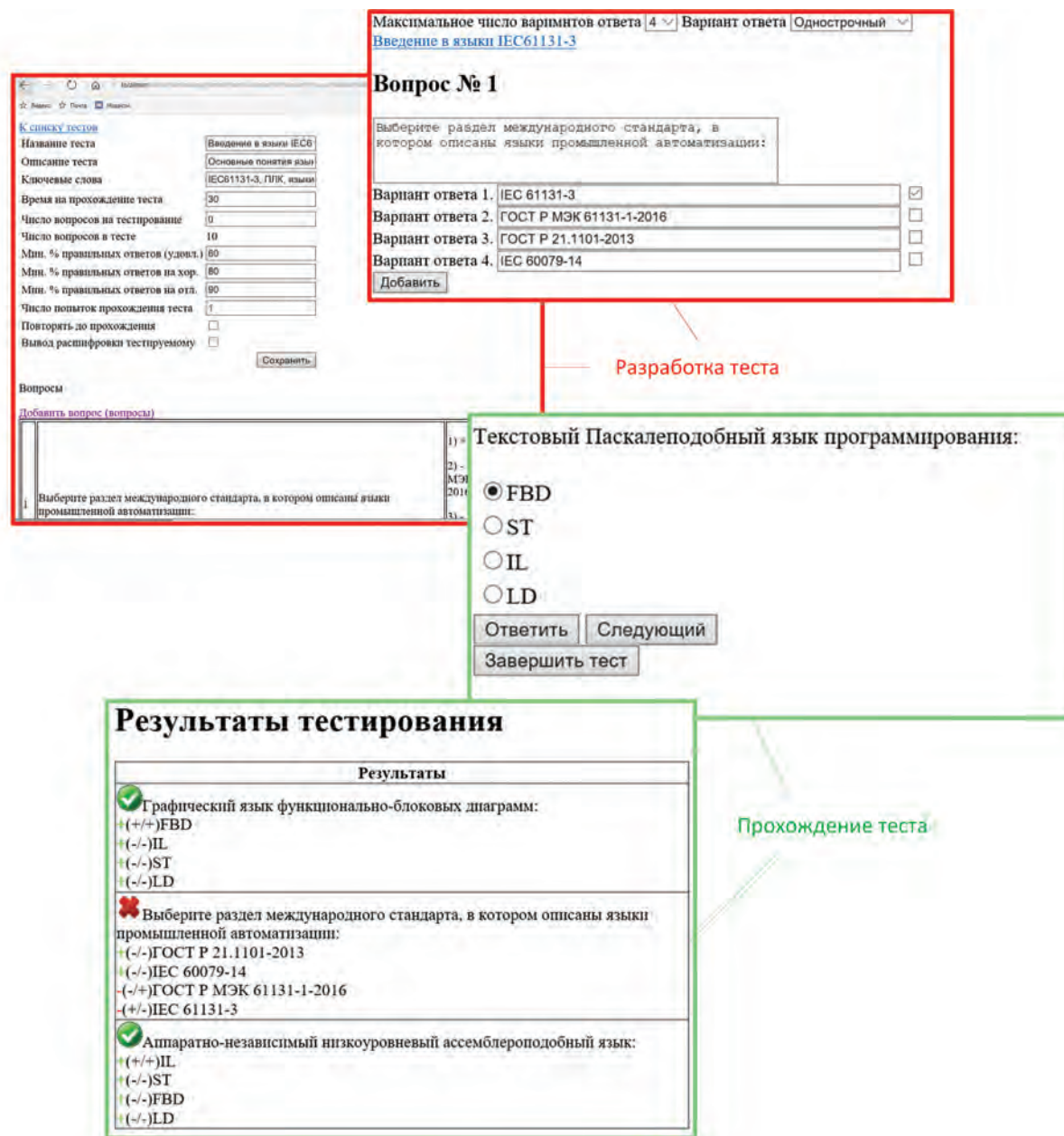


Рис. 5. Пример разработанного теста в модуле тестирования системы VLab

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Благотворительного фонда В. Потанина (№ ГПК-19/16)

Литература

1. Демши В. О., Пищик Б. Н., Козьменко Г. Г. Проблемы автоматизации управления образовательным учреждением // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. 2009. Т. 7. № 3. С. 94–102.

2. Панюкова С. В. Комплексная система автоматизации управления университетом // Вестник Российского универ-

ситета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2011. № 2. С. 71–77.

3. Власова Е. З. Электронное обучение в современном вузе: проблемы, перспективы и опыт использования // Universum: Вестник Герценовского университета. 2014. № 2. С. 43–49.

4. Usability And User Experience In Training. URL: <https://elearningindustry.com/usability-and-user-experience-training> (дата обращения: 25.11.2016).

5. Горячев М. Д., Горячев М. М., Иванушкина Н. В., Мантуленко В. В. Применение сетевых ресурсов в современном

образовании // Вестник Самарского государственного университета. 2014. № 5 (116). С. 220–227.

6. *Capra T.* OnlineEducation: PromiseandProblems // MERLOT Journal of Online Learningand Teaching. 2011. Vol.7. No. 2. Pp. 288–293.

7. *Букаева А. А., Магзумова А. Т.* Использование социальных сетей в образовательном процессе // Инновации в науке. 2015. № 2 (39). С. 120–126.

8. *Акимов С. В., Верховая Г. В.* Распределенная информационно-аналитическая система комплексной автоматизации

академической деятельности // Телекоммуникации. 2014. № 5. С. 15–19.

9. *Верхова Г. В., Акимов С. В.* Программа интерактивного курса «Язык программирования для автоматизированных производств» // Сборник статей III Международного научно-практического конкурса «Лучшая студенческая статья 2016» (20 ноября 2016, Пенза). Пенза, 2016. С. 16–21.

10. Научно-деловая социальная сеть EJ-ИК (Education Job International Keeper). URL: ej-ik.ru

E-LEARNING SYSTEM BASED ON INTERACTIVE MULTIMEDIA TEACHING SETS INTEGRATED IN THE CYBER VIRTUAL ENTERPRISE

Galina V. Viktorovna,

St. Petersburg, Russia, galina500@inbox.ru

Sergei V. Akimov,

St. Petersburg, Russia, akimov-sv@yandex.ru

ABSTRACT

The work presents the results of research in the field of creation of interactive multimedia teaching materials and the formation of a single academic cyber environment based on them. The problems arising during implementation and use in educational process of modern e-learning systems, the ways of their solution are shown.

It is shown that in the basis of a single academic cyber should be based on three basic principles: agent-orientation, information-driven self-service and controlled information transparency. These principles make the cyber radically different from modern corporate information systems. Interactive multimedia educational-methodical complexes focused on the formation of a unified educational space of educational institutions and are designed systematically to combine the processes of developing teaching materials, conduct classes, run by students of individual and group assignments, including regular testing carried out in automatic mode. A feature of these complexes is their deep integration in the cyber virtual enterprise.

Introduction in educational process of the developed system will provide:

- a unified information environment of representation of teaching materials, implemented with attraction of the newest technologies;
- adequate information support individual learning paths and network forms of realization of educational programs;
- providing students with opportunities to learn discipline the most convenient way, taking into account their knowledge and individual perception of information (text, static image or video), to perform continuous inspection and correction of learning using simulators and automated tests;
- unifying form of presentation of data included in the electronic content of the discipline, simplifying control of the completeness of the information;
- formation of interdisciplinary exchange fund of electronic educational-methodical and control and measuring materials, the creation of a unified electronic library.

Keywords: interactive educational and methodical complex; electronic learning; virtual enterprises; cyber environment; a single information educational space; multimedia educational content.

References

1. Demish V.O., Pishchik B.N., Kozmenko, G. G., Problems of automation of management of educational institution. *Novosibirsk State University Journal of Information Technologies*. 2009. Vol. 7. No. 3. Pp. 94-102. (In Russian)
2. Panyukova S.V. Complex system of automation of University management. *Vestnik RUDN [Journal of Informatization of Education]*. 2011. No. 2. Pp. 71-77. (In Russian)
3. Vlasova E.Z. Elektronnoe obuchenie v sovremennom vuze: problemy, perspektivy i opyt ispol'zovaniya [E-learning in the modern University: problems, prospects and experience of using]. *Universum: Vestnik Gertsenovskogo universiteta*. 2014. No. 2. Pp. 43-49. (In Russian)
4. Usability And User Experience In Training URL: <https://elearningindustry.com/usability-and-user-experience-training> (date accessed: 25.11.2016).
5. Goryachev M.D., Goryachev M.M., Ivanushkina N.V., Mantulenko V.V. Application of network resources in modern education. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Samara state University]*. 2014. No. 5 (116). Pp. 220-227. (In Russian)
6. Capra T. OnlineEducation: PromiseandProblems. *MERLOT Journal of Online Learningand Teaching*. 2011. Vol. 7. No. 2. Pp. 288-293. (In Russian)
7. Bukaev A.A. Magzumova A.T. the Use of social networks in educational process. *Innovatsii v nauke [Innovations in science]*. 2015. No. 2 (39). Pp. 120-126. (In Russian)
8. Akimov S.V., Verkhova G.V. Distributed information-analytical system for complex automation of academic activities. *Telekommunikatsii [Telecommunications]*. 2014. No. 5. Pp. 15-19. (in Russian)
9. Verkhova G.V., Akimov S.V., Programma interaktivnogo kursa «Yazyki programmirovaniya dlya avtomatizirovannykh proizvodstv» [Program interactive course "Programming Languages for Automated Production"]. *Sbornik statey III Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo konkursa "Luchshaya studentskaya stat'ya 2016" (20 noyabrya 2016, Penza)*. [Collection of articles III International scientific-practical competition "Best Student Article 2016" (20 November 2016, Penza)]. Penza, 2016. Pp. 16-21. (In Russian)
10. Scientific business social network EJ-İK (Education Job International Keeper). URL: ej-ik.ru. (In Russian)

Information about authors:

Verkhova G.V., PhD, professor, head of the department of telecommunications companies automation, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications;
Akimov S.V., PhD, associate professor of telecommunications companies automation department, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications.

For citation: Verkhova G.V., Akimov S.V. E-learning system based on interactive multimedia teaching sets integrated in the cyber virtual enterprise. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 3. Pp. 55-62. (In Russian)



МЕТОДИКА УЧЕТА РИСКА И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА РАННИХ СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Волков Валерий Федорович,

д.в.н., профессор, профессор кафедры системного анализа и математического обеспечения автоматизированных систем управления (войсками) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, the_lexys@bk.ru

Толмачев Алексей Александрович,

к.в.н., начальник учебного командного пункта кафедры организации боевого применения сил и средств ракетно-космической обороны Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, the_lexys@bk.ru

АННОТАЦИЯ

В работе предложены два подхода к выбору схемы учета факторов риска и неопределенности на стадиях разработки технических предложений и эскизного проекта автоматизированной системы управления, входящей в состав новой разрабатываемой организационно-технической системы. Первый подход базируется на использовании аппарата теории нечетких множеств. Основанная на нем методика позволяет получить количественную оценку истинности экспертного заключения о ходе работ над проектом автоматизированной системы управления, оценить риск невыполнения требований заказчика по таким показателям, как количество объектов, с которыми может работать автоматизированная система управления; продолжительность решения информационно-расчетных задач; время, необходимое для сбора информации об обслуживаемых объектах; время доведения управляющей информации до исполнительных органов; степень защищенности автоматизированной системы управления от информационных воздействий противника; степень защищенности автоматизированной системы управления от физических воздействий противника. Каждый из перечисленных показателей рассматривается как лингвистическая переменная, состоящая из следующих термов: «очень низкий уровень показателя»; «низкий уровень показателя»; «средний уровень показателя»; «высокий уровень показателя»; «очень высокий уровень показателя».

Второй подход учитывает нечеткий характер требований к результатам функционирования организационно-технической системы, неизбежный для ранних стадий жизненного цикла организационно-технической системы и автоматизированной системы управления. На примере оценивания эффективности функционирования подсистемы передачи данных разработана методика обоснования требований к параметрам подсистемы передачи данных, обеспечивающим гарантируемую вероятность доведения управляющего сигнала не ниже директивного уровня. При этом учитывается, что на ранних стадиях жизненного цикла организационно-технической системы могут решаться либо «прямые» задачи исследования эффективности, либо «обратные». Прямые задачи заключаются в расчете основных или частных показателей эффективности подсистемы передачи данных. Обратные задачи могут быть сгруппированы в три класса: структурный синтез автоматизированной системы управления, параметрический синтез автоматизированной системы управления, алгоритмический синтез автоматизированной системы управления. Степень детализации разработанных методик определяется точностью прогноза условий обстановки, в которых будет осуществляться применение организационно-технической системы и функционирование автоматизированной системы управления.

Ключевые слова: лингвистическая переменная; гарантируемая вероятность; стохастический индикатор; эффективность целенаправленного процесса; степень риска; частный показатель качества; результативность.

Для цитирования: Волков В. Ф., Толмачев А. А. Методика учета риска и неопределенности на ранних стадиях жизненного цикла разрабатываемой автоматизированной системы управления // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 3. С. 63-70.

Введение

При создании вновь разрабатываемых автоматизированных систем управления (АСУ) необходимо решать совокупность ряда взаимосвязанных задач анализа и синтеза. В обобщенной постановке задача синтеза формулируется следующим образом: требуется определить вариант структуры W , при котором в процессе решения поставленной задачи Z в сложившихся условиях V с учетом временных ограничений T , при эксплуатационно-технических характеристиках (ЭТХ) имеющихся образцов S подсистем Y системы информационного обеспечения (СИО), при объеме информации I обеспечивается выработка решения R , удовлетворяющего условию

$$W = \arg \max_w \mathcal{E}(W, Z, V, T, Y, I, S, R),$$

где \mathcal{E} — выбранный показатель.

Сформулированная общая задача синтеза является достаточно сложной для непосредственного решения вследствие наличия значительного числа факторов риска и неопределенности, поэтому она должна быть декомпозирована на ряд частных задач.

Анализ риска невыполнения требований заказчика разрабатываемой АСУ методами теории нечетких множеств

На ранних стадиях жизненного цикла разрабатываемых АСУ вследствие разных причин возможно принятие ошибочного положительного заключения при наличии факта невыполнения требований заказчика (НТЗ), что в итоге приведет к существенному перерасходу государственных средств. Таким образом, требуется дать

количественную оценку истинности экспертного заключения о ходе работ над новым проектом АСУ.

Один из возможных подходов к решению этой задачи заключается в использовании теории нечетких множеств. Введем лингвистическую переменную g = «риск НТЗ к разрабатываемой АСУ». Универсальным множеством для переменной g является отрезок $[0,1]$, а множеством значений переменной g — терм-множество $G = \{G_1, G_2, G_3, G_4, G_5\}$, где G_1 = «предельный риск невыполнения требований заказчика»;

G_2 = «степень риска НТЗ высокая»;

G_3 = «степень риска НТЗ средняя»;

G_4 = «низкая степень риска НТЗ»;

G_5 = «риск НТЗ незначительный».

Каждый терм из множества G является именем нечеткого подмножества на отрезке $[0,1]$. Будем рассматривать нечеткие подмножества как трапециевидные нечеткие числа. Составим таблицу функций принадлежности каждого термина (табл. 1), используя формулу функции принадлежности трапециевидного нечеткого числа $x = (a_1, a_2, a_3, a_4)$:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < a_1; \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & \text{если } a_1 \leq x < a_2; \\ 1, & \text{если } a_2 \leq x \leq a_3; \\ \frac{x - a_4}{a_3 - a_4}, & \text{если } a_3 < x \leq a_4; \\ 0, & \text{если } x > a_4. \end{cases} \quad (1)$$

Таблица 1

Функции принадлежности подмножества терм-множества g

Терм G_k	Функция принадлежности нечеткого множества G_k
G_5 — «риск НТЗ незначительный» $G_5 \in [0; 0, 25]$	$\mu_5 = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 \leq g \leq 0,15; \\ 10(0,25 - g), & \text{если } 0,15 \leq g \leq 0,25. \end{cases}$
G_4 — «низкая степень риск НТЗ» $G_4 \in [0; 0, 25]$	$\mu_4 = \begin{cases} 1 - 10(0,25 - g), & \text{если } 0,15 \leq g \leq 0,25; \\ 1, & \text{если } 0,25 \leq g \leq 0,35; \\ 10(0,45 - g), & \text{если } 0,35 \leq g \leq 0,35. \end{cases}$
G_3 — «степень риска НТЗ средняя» $G_3 \in [0; 0, 25]$	$\mu_3 = \begin{cases} 1 - 10(0,45 - g), & \text{если } 0,35 \leq g \leq 0,45; \\ 1, & \text{если } 0,45 \leq g \leq 0,55; \\ 10(0,65 - g), & \text{если } 0,55 \leq g \leq 0,55. \end{cases}$
G_2 — «степень риска НТЗ высокая» $G_2 \in [0; 0, 25]$	$\mu_2 = \begin{cases} 1 - 10(0,65 - g), & \text{если } 0,65 \leq g \leq 0,75; \\ 1, & \text{если } 0,75 \leq g \leq 0,85; \\ 10(0,85 - g), & \text{если } 0,85 \leq g \leq 0,85. \end{cases}$
G_1 — «предельный риск НТЗ» $G_1 \in [0; 0, 25]$	$\mu_1 = \begin{cases} 1 - 10(0,85 - g), & \text{если } 0,75 \leq g \leq 0,85; \\ 1, & \text{если } 0,85 \leq g \leq 0,1. \end{cases}$

Значение функции принадлежности будем рассматривать как меру истинности термина G_i . Например, если было установлено, что $g = 0,62$, то отличную от нуля функцию принадлежности имеют два термина: G_3 — «степень риска НТЗ средняя» и G_2 — «степень риска НТЗ высокая». При этом

$$\mu_3(0,62) = 10(0,65 - g)|_{g=0,62} = 0,3$$

$$\mu_2(0,62) = 1 - 10(0,65 - g)|_{g=0,62} = 0,7$$

Таким образом, для $g = 0,62$ высказывание «степень риска НТЗ высокая» является «более истинным», чем высказывание «степень риска НТЗ средняя».

Заключение о риске НТЗ эксперт делает на основании частных показателей качества (ЧПК) разрабатываемой АСУ. Показатели следует выбирать так, чтобы увеличение каждого отдельного ЧПК X_i был сопряжен со снижением степени риска НТЗ, с повышением потенциальной эффективности функционирования разрабатываемой АСУ. Если для какого-либо ЧПК наблюдается противоположная тенденция, то в анализе его следует заменить сопряженным [1].

Пусть эксперт выбрал систему из шести следующих показателей:

X_1 — количество объектов, с которыми может работать АСУ;

X_2 — продолжительность решения информационно-расчетных задач;

X_3 — время, необходимое для сбора информации об обслуживаемых объектах;

X_4 — время доведения управляющей информации до исполнительных органов;

X_5 — степень защищенности АСУ от информационных воздействий противника;

X_6 — степень защищенности АСУ от физических воздействий противника.

Каждый частный показатель — числовая переменная, или, по-другому, переменная, принимающая свои значения на определенном числовом промежутке. Каждую из этих

числовых переменных будем рассматривать как множество носитель лингвистической переменной Bi , состоящей из следующих термов:

Bi_1 — «очень низкий уровень показателя X_i »;

Bi_2 — «низкий уровень показателя X_i »;

Bi_3 — «средний уровень показателя X_i »;

Bi_4 — «высокий уровень показателя X_i »;

Bi_5 — «очень высокий уровень показателя X_i ».

Примем, что каждая лингвистическая переменная имеет трапециевидную функцию принадлежности, которая может быть определена четверкой чисел: $x = (a_1, a_2, a_3, a_4)$, т.е. функция принадлежности каждого термина B_{ij} имеет вид (1).

Экспертные оценки всех термов B_{ij} ($i = 1, 2, 3, 4, 5$; $j = 1, 2, 3, 4, 5$) даны в табл. 2.

Из данных, приведенных в табл. 2, и формулы (1) следует, что если, к примеру, $X_3 = 0,78$, то состояние этого показателя может быть оценено как $B_{32} = (0,5; 0,6; 0,7; 0,8)$ — «низкий уровень показателя X_3 » или как $B_{33} = (0,7; 0,8; 0,9; 1)$ — «средний уровень показателя X_3 ». При этом

$$\mu_{32} = \frac{x - 0,08}{0,7 - 0,8} \Big|_{x=0,73} = \frac{-0,02}{-0,1} = 0,2 \text{ — оценка истинности } B_{32};$$

$$\mu_{33} = \frac{x - 0,7}{0,8 - 0,7} \Big|_{x=0,78} = \frac{0,08}{0,1} = 0,8 \text{ — оценка истинности } B_{33}.$$

Теперь необходимо перейти от финансовых показателей $X = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6)$ к высказываниям о степени риска НТЗ к разрабатываемой АСУ $G = (G_1, G_2, G_3, G_4, G_5)$.

Для формирования правил перехода от значений частных показателей к лингвистическим переменным G_i надо проранжировать частные показатели по степени их вклада в риск НТЗ к разрабатываемой АСУ, т.е. сопоставить каждому показателю X_i его вес r_i , определяющий вклад показателя в меру риска НТЗ [6].

Если веса показателей упорядочены, т.е. имеется информация о том, что $r_1 \geq r_2 \geq \dots \geq r_n$, и более никакой

Таблица 2

Экспертные оценки частных показателей разрабатываемой АСУ

Показатель	Терм				
	Bi_1	Bi_2	Bi_3	Bi_4	Bi_5
X_1	(0; 0; 1,1; 0,2)	(0, 1; 0,2; 0,25; 0,3)	(0,25; 0,3; 0,45; 0,5)	(0,34; 0,5; 0,6; 0,7)	(0,6; 0,7; 1; 1)
X_2	(-1; -1; -0,005; 0)	(-0,005; 0; 0,09; 0,11)	(0,09; 0,11; 0,3; 0,35)	(0,3; 0,35; 0,45; 0,5)	(0,45; 0,5; 1; 1)
X_3	(0; 0; 0,5; 0,6)	(0,5; 0,6; 0,7; 0,8)	(0,7; 0,8; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1,3; 1,5)	(1,3; 1,5; ∞ ; ∞)
X_4	(0; 0; 0,01; 0,03)	(0,03; 0,03; 0,08; 0,1)	(0,008; 0,1; 0,3; 0,35)	(0,3; 0,35; 0,5; 0,6)	(0,5; 0,6; ∞ ; ∞)
X_5	(0; 0; 0,12; 0,14)	(0,12; 0,14; 0,18; 0,2)	(0,18; 0,02; 0,3; 0,4)	(0,3; 0,4; 0,5; 0,8)	(0,5; 0,8; ∞ ; ∞)
X_6	($-\infty$; $-\infty$; 0; 0)	(0; 0; 0,006; 0,01)	(0,006; 0,01; 0,06; 0,1)	(0,006; 0,1; 0,225; 0,4)	(0,225; 0,4; ∞ ; ∞)

информации об этих величинах нет, то вес определяют по правилу Фишберна:

$$r_i = \frac{2(n-i+1)}{(n-1)n} \quad (2)$$

Оценка (1) соответствует максимуму информационной энтропии по объекту исследования (проекту АСУ).

Если показатели равнопредпочтительны или системы предпочтений нет, то будем считать, что они обладают равным весом:

$$r_i = \frac{1}{n} \quad (3)$$

Для выбранных выше показателей $X_i, i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ примем формулу (3):

$$r_i = \frac{1}{6}$$

При выбранной системе весов показателей, согласно [1–2], правило перехода от значений частных показателей к весам термов лингвистической переменной g имеет вид

$$p_k = \sum_{i=1}^6 r_i \mu_{ki}; k = 1, 2, 3, 4, 5. \quad (4)$$

Вычислив наблюдаемые веса каждого терма лингвистической переменной G_p , получим значение самой переменной g по формуле

$$g = \sum_{k=1}^5 p_k g_k; k = 1, 2, 3, 4, 5, \quad (5)$$

где \bar{g}_k — середина промежутка, который является носителем терма $G_k \in (a_{k1}, a_{k4}]$.

Переход от ЧПК к лингвистическим оценкам риска показан на рис. 1.

Применим изложенный алгоритм к оценке риска НТЗ, проводимой на стадии разработки аванпроекта (I этап) и эскизного проекта (II этап). Уровни показателей (трапециевидные числа) для их наблюдаемых значений соответствуют табл. 2, значения функций принадлежности каждого нечеткого числа вычислены по формуле (1).

Первичная обработка частных показателей представлена табл. 3.

Вычислим значение функции принадлежности лингвистической переменной $g = \text{гн«риск НТЗ к разрабатываемой АСУ»}$ за I этап в соответствии со схемой, изображенной на рис. 1, результаты сведем в табл. 4.

Используя табл. 4, найдем значения функций принадлежности $\mu_k(g)$ для $g = 0,445$:

$$\mu_4(0,445) = 10(0,45 - g)|_{g=0,445} = 0,05$$

$$\mu_5(0,445) = 1 - 10(0,45 - g)|_{g=0,445} = 0,95$$

$$\mu_k = 0 \text{ для } k = 1, 2, 3.$$

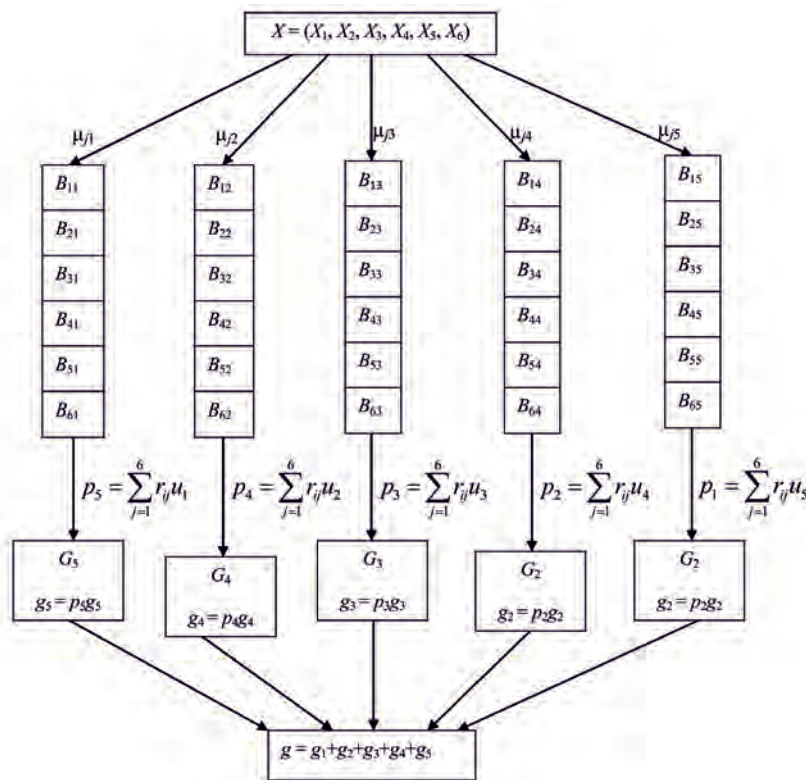


Рис. 1. Схема перехода от частных показателей к лингвистическим оценкам риска

Таблица 3

Первичная обработка частных показателей

Наблюдаемое значение показателя		Уровень показателя (трапециевидные числа)	Значение функции принадлежности	
I этап	II этап		I этап	II этап
$x_1 = 0,619$	$x_1 = 0,566$	$B_{13} = (0,6; 0,7; 1; 1)$ $B_{14} = (0,45; 0,5; 0,6; 0,7)$	$\mu_{13} = 0,19$ $\mu_{14} = 0,81$	$\mu_{14} = 0,81$
$x_2 = 0,294$	$x_2 = 0,262$	$B_{23} = (9,09; 0,11; 0,3; 0,35)$	$\mu_{23} = 1$	$\mu_{23} = 1$
$x_3 = 0,670$	$x_3 = 0,622$	$B_{32} = (0,05; 0,6; 0,7; 0,8)$	$\mu_{32} = 1$	$\mu_{32} = 1$
$x_4 = 0,112$	$x_4 = 0,048$	$B_{42} = (0,02; 0,03; 0,08; 0,1)$ $B_{43} = (0,085; 0,1; 0,3; 0,35)$	$\mu_{43} = 1$	$\mu_{43} = 1$
$x_5 = 2,876$	$x_5 = 3,46$	$B_{55} = (0,5; 0,8; \infty; \infty)$	$\mu_{55} = 1$	$\mu_{55} = 1$
$x_6 = 0,113$	$x_6 = 0,008$	$B_{62} = (0; 0; 0,006; 0,01)$ $B_{63} = (0,06; 0,1; 0,225; 0,4)$	$\mu_{64} = 1$	$\mu_{62} = 0,5$ $\mu_{63} = 0,5$

Вывод по состоянию проекта АСУ за I этап:

$$G_4 (\mu_4 = 0,005) \text{ или } G_5 (\mu_5 = 0,95), \text{ т. е.}$$

«Низкая степень риска НТЗ» или «Риск НТЗ — незначительный».

Вычислим значение функции принадлежности лингвистической переменной g = «Риск НТЗ к разрабатываемой АСУ» за II этап (табл. 5):

$$\mu_3(0,49) = 1$$

Вывод по состоянию проекта АСУ за II этап:

$G_3 (\mu_3 = 1)$, т. е. «Низкая степень риска НТЗ» или «Риск НТЗ — незначительный» [4].

Учет неопределенности на ранних стадиях жизненного цикла АСУ методами теории стохастической индикации

Простота процедур получения оценок средних значений вероятностных характеристик привела к широкому использованию их в практических расчетах. Однако осреднение экспериментальных данных ведет к существенной потере информации и делает невозможным прогнозирование результатов единичных опытов. Так была осознана настоятельная потребность в вероятностных моделях, позволяющих производить многоступенчатое исследование характеристик случайных объектов (величин, векторов, функций). Указанные модели составили объект исследования теории стохастической индикации.

На ранних стадиях жизненного цикла СИО, в соответствии с концепциями системного анализа, необходимо учитывать случайную природу величины $t_{\text{тр}}$ вследствие невозможности точной интерпретации комплекса условий применения ОТС, заранее, за несколько лет до его применения. Таким образом, возникает необходимость введение в рассмотрение ещё одного показателя эффективности СИО вероятности $W = P(\hat{t}_{\text{но}} \leq \hat{t}_{\text{тр}})$. Один из подходов к решению такого рода задач разработан в рамках

теории стохастической индикации (ТСИ). Авторами новой концепции было введено понятия стохастического индикатора ω_A — случайной величины, принимающей значение 1, если \hat{A} произойдет, и 0 в противоположном случае. Семантический анализ категорий «истинность высказывания», «достоверность события», «вероятность случайного события», «степень достоверности случайного события», «вероятность высказывания», «степень истинности высказывания» показал, что вероятность случайного события \hat{A} равна математическому ожиданию его индикатора ω_A [3].

Следовательно, при расчете даже такого частного показателя, как вероятность доведения управляющей информации, необходимо учитывать случайную природу величины $\hat{t}_{\text{тр}}$. При такой постановке задачи исследования вероятность $P_{\text{дов}} = P(t_{\text{дов}} < t_{\text{тр}})$ также является случайной величиной, и в рассмотрение вводится стохастический индикатор \hat{w}_A события (в данном случае — доведения сигнала от ВЗУ до исполнительного органа). В теории стохастической индикации \hat{w}_A определяется как величина, распределенная по закону Бернулли, при этом вероятность оцениваемого события равна математическому ожиданию индикатора:

$$\bar{w}_A = P(t_{\text{дов}} < t_{\text{тр}}) \quad (6)$$

Следовательно, для оценивания апостериорной вероятности $P(\hat{P}_{\text{дов}} > P_{\text{зад}})$ необходимо вычислить квантиль, соответствующий некоторому заданному уровню γ . Рассмотрим пример. Пусть планируется операция, сигнал о начале которой должен быть доведен не позднее директивного момента времени z . ТТХ СИО и реализуемого ею процесса прохождения сигнала позволяют завершить доставку командной информации к моменту времени \hat{y} . Требуется рассчитать вероятность доведения командной информации при условии, что возможная (y) и требуемая (\hat{z}) длительности процесса доведения информации для конкретной структуры СИО подчинены смещенным показательным законам распределения, т. е.

Таблица 4

Вычисление значений функции принадлежности лингвистической переменной g = «риск НТЗ к разрабатываемой АСУ» за I этап

Вес термина p , лингвистической переменной g	Множество носителя i -го термина лингвистической переменной g	Середина промежутка G_i, g_i	$g_i = p_i g_i$
$p_5 = \sum_{i=1}^6 r_i u_{i1} = 0$	$G_5 \in [0;0,25]$	0,125	0
$p_4 = \sum_{i=1}^6 r_i u_{i2} = \frac{1}{6} \mu_{23} = \frac{1}{6} \approx 0,16667$	$G_5 \in [0,15;0,45]$	0,3	0,005
$p_3 = \sum_{i=1}^6 r_i u_{i3} = \frac{1}{6} (\mu_{23} + \mu_{43}) = \frac{2}{6} \approx 0,33333$	$G_5 \in [0,35;0,65]$	0,5	0,16667
$p_2 = \sum_{i=1}^6 r_i u_{i4} = \frac{1}{6} (\mu_{14} + \mu_{64}) = \frac{1,81}{6} \approx 0,30167$	$G_5 \in [0,55;0,85]$	0,7	0,21117
$p_1 = \sum_{i=1}^6 r_i u_{i5} = \frac{1}{6} (\mu_{15} + \mu_{55}) = \frac{1,19}{6} \approx 0,19833$	$G_5 \in [0;0,25]$	0,0875	0,01735
$p_2 = \sum_{i=1}^5 g_i = 0,445$			

Таблица 5

Вычисление значений функции принадлежности лингвистической переменной g = «риск НТЗ к разрабатываемой АСУ» за II этап

Вес термина p , лингвистической переменной g	Множество носителя i -го термина лингвистической переменной g	Середина промежутка G_i, g_i	$g_i = p_i g_i$
$p_5 = \sum_{i=1}^6 r_i u_{i1} = 0$	$G_5 \in [0;0,25]$	0,125	0
$p_4 = \sum_{i=1}^6 r_i u_{i2} = \frac{1}{6} \mu_{23} = \frac{1,5}{6} \approx 0,25$	$G_5 \in [0,15;0,45]$	0,3	0,15
$p_3 = \sum_{i=1}^6 r_i u_{i3} = \frac{1}{6} (\mu_{23} + \mu_{43} + \mu_{63}) = \frac{2,5}{6} \approx 0,41667$	$G_5 \in [0,35;0,65]$	0,5	0,20834
$p_2 = \sum_{i=1}^6 r_i u_{i4} = \frac{1}{6} \mu_{14} = \frac{1}{6} \approx 0,16667$	$G_5 \in [0,55;0,85]$	0,7	0,11667
$p_1 = \sum_{i=1}^6 r_i u_{i5} = \frac{1}{6} \mu_{55} = \frac{1}{6} \approx 0,16667$	$G_5 \in [0;0,25]$	0,0875	0,01458
$p_2 = \sum_{i=1}^5 g_i = 0,490$			

$$F_{\hat{y}}(y) = F_{\hat{y}}(y, \mu, a) = [1 - e^{-\mu(y-a)}] \Delta(y-a), \quad (7)$$

$$F_{\hat{z}}(Z) = F_{\hat{z}}(z, \nu, c) = [1 - e^{-\nu(z-c)}] \Delta(z-c), \quad (8)$$

где Δ — индикатор (селектор) луча [2].

Для решения используем результаты теории стохастической индикации. В рассматриваемом случае средняя вероятность достижения цели процесса (доведения сигнала) будет определяться соотношением

$$P_{\text{ДЦ}} = P(\hat{y} \leq \hat{z}) = \int_{-\infty}^{\infty} F_{\hat{y}}(Z) dF_{\hat{z}}(Z) = \int_0^1 w dF_{\hat{w}_1}(w) = \bar{w}_1, \quad (9)$$

где $\hat{w}_1 = F_{\hat{y}}^d(\hat{z})$,

Пусть для гипотетической СИО исходные данные имеют следующие значения: $\mu = 0,5$; $a = I$; $I = I$; $c = 0,2$. Функция распределения $F_{\hat{w}_1}(w)$ определяется выражением:

$$\begin{aligned} F_{\hat{w}_1}(w) &= F_{\hat{z}}[F_{\hat{z}}^{-1}(w)] = \\ &= [1 - e^{-\nu(c-a)}(1-w)^\mu] \cap (w; F_{\hat{y}}(c), 1) + \Delta(w-1) = \\ &= [1 - e^{-\nu(1-w)}] \cap (w; 0,39, 1) + \Delta(w-1) \end{aligned}$$

После подстановки алгебраических преобразований и последующего интегрирования получим

$$\bar{w}_1 = 1 - \frac{\nu}{\nu + \mu} e^{\mu(a-c)} = 0,596 \quad (10)$$

Пусть высшим звеном управления (ВЗУ) предписан уровень гарантии $P(\hat{P}_{\text{дов}} > P_{\text{зад}}) = \gamma = 0,9$. Используя аппарат теории вероятностей, получим:

$$w_{1,\text{дц}}^{\Gamma}(\gamma) = w_1^{\Gamma}(\gamma) = F_{\hat{w}_1}^{-1}(1-\gamma) = 1 - \gamma^{\frac{\mu}{\nu}} e^{\mu(a-c)}$$

После подстановки исходных данных:

$$w_1 = 1 - (0,9)^{\frac{1}{2}} e^{\frac{1-2}{2}} = 0,424.$$

Следовательно, гарантируемая вероятность доведения управляющей информации равна $\omega_1^{\Gamma} = 0,424$, и именно на это значение необходимо ориентироваться при принятии решения по структуре СИО [5].

Таким образом, вторая стратевка категории «гарантируемая вероятность» связана с необходимостью учета неопределенности в задании требований к результату процесса информационного обеспечения. Следует подчеркнуть, что величина μ в данном примере не только характеризует качество подсистемы доведения информации, но и является одним из параметров результативности (быстродействия) всего информационного контура для оцениваемого варианта структуры (станций получения первичной информации, подсистемы передачи данных, пунктов управления, центров

обработки информации и т.п.). Следует заметить также, что в рамках данного примера задача параметрического синтеза заключается в обосновании требований к величине μ . Например, при $\omega_1^{\Gamma} \geq 0,8$ характеристика быстродействия должна быть не менее величины $\mu_{\text{тр}} = 1,45$ (т.е. СИО с данным параметром μ обеспечивает гарантируемую вероятность доведения управляющего сигнала не ниже 0,8).

Заключение

Для обоснования рационального варианта АСУ ОТС, в соответствии с принципами системного подхода, необходимо учитывать случайную природу факторов различных иерархических уровней. В статье предложены два подхода к оцениванию качества разрабатываемых АСУ, учитывающие факторы риска и неопределенности в целях обеспечения гарантированного выполнения поставленной задачи информационного обеспечения ОТС за заданное время с заданной вероятностью. Первый подход заключается в проведении количественного оценивания истинности экспертного заключения о ходе работ над новым проектом АСУ и базируется на использовании теории нечетких множеств. Второй подход учитывает нечеткий характер требований к результатам функционирования ОТС, неизбежный для ранних стадий жизненного цикла АСУ и ОТС и базируется на использовании теории стохастической индикации. Степень детализации разработанных методик определяется точностью прогноза условий обстановки, в которых будет осуществляться применение ОТС.

Литература

1. Баранюк В. А., Черенов Н. Н. К вопросу о выборе и использовании системы критериальных оценок эффективности АСУВ // Военная радиоэлектроника. 1971. № 1(331). С. 34–39.
2. Петухов Г. Б., Якунин В. И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М.: АСТ, 2006. 502 с.
3. Козичев В. Н., Каргин В. Н., Ширманов А. В., Голошнев С. П. Перспективы создания корпоративных автоматизированных информационных систем военного назначения // Военная мысль. 2015. № 10. С. 19–32.
4. Легков К. Е., Нестеренко О. Е. Об управлении рисками при обеспечении безопасности функционирования инфокоммуникационных сетей специального назначения // Вестник Ярославского зенитного ракетного института противовоздушной обороны. 2014. № 4. С. 38–43.
5. Волков В. Ф., Толмачев А. А. Методика определения гарантированной вероятности выполнения задачи информационного обеспечения процесса обслуживания вновь выводимых объектов // Радиопромышленность. 2015. № 1(1). С. 127–137.
6. Ратушняк Г. Я., Лисицкий В. В., Потанов А. Н. Метод оптимального распределения ресурсов в условиях модернизации // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т. 8. № 5. С. 17–23.

METHODOLOGY OF RISK AND UNCERTAINTY IN THE EARLY STAGES OF THE DEVELOPMENT LIFE-CYCLE AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

Valeriy F. Volkov,

St. Petersburg, Russia, the_lexys@bk.ru

Alexey A. Tolmachev,

St. Petersburg, Russia, the_lexys@bk.ru

ABSTRACT

The work paper proposed two approaches to choose the scheme taking into account factors of risk and uncertainty at the stages of development of technical proposals and preliminary design of the automated control systems, part of the new development of organizational-technical systems. The first approach is based on the use of the theory of fuzzy sets. Based on this technique allows a quantitative evaluation of the truth of the expert report on the progress of work on the automated control systems project, to assess the risk of failing to meet customer requirements on indicators such as the number of objects that can operate of automated control systems; duration solutions information and calculation tasks; the time required to collect information about the accepted objects; the time taken to pass control information to the Executive authorities; the degree of protection from automated control systems information influence of the enemy; the degree of protection from automated control systems physical forces of the enemy. Each of these indicators is regarded as a linguistic variable consisting of the following terms: "very low level"; "low level"; "average index level"; "high level"; "very high level".

The second approach takes into account the fuzzy nature of the requirements for the performance of organizational-technical systems, inevitable for the early stages of the life cycle of the organizational-technical systems and automated control systems. On the example of estimation of efficiency of functioning of the subsystem of data transmission developed a methodology for the justification of requirements to the parameters of the subsystem of data transmission, providing a guaranteed likelihood of the control signal is not below the legislative level. This takes into account that in the early stages of the life cycle of organizational-technical systems can be addressed either "direct" objectives of the study the effectiveness or "reverse". Direct problems consist in calculation of basic or partial indicators of the effectiveness of the subsystem of data transmission. The inverse problem can be grouped into three classes: structural synthesis of automatic control system, automated control systems and parametric synthesis, algorithmic synthesis of control systems. The granularity of the developed techniques is determined by the accuracy of the forecast of the situation, which will be implemented by the use of the organizational-technical systems and the functioning of the automated control systems.

Keywords: linguistic variable; guaranteed probability; the stochastic indicator; the effectiveness of targeted process; the degree of risk; the private indicator of the quality; the performance.

References

1. Baranjuk V.A., Cherenov N.N. K voprosu o vybore i ispol'zovanii sistemy kriterial'nyh ocenok jeffektivnosti ASUV [To the question about the selection and use of a system of criteria of effectiveness evaluation asuv]. *Voennaja radioelektronika* [Military radio electronics]. 1971. No. 1(331). Pp. 34-39. (In Russian)
2. Petuhov G.B, Jakunin V.I. *Metodologicheskie osnovy vneshnego proektirovanija celenapravlennyh processov i celeustremlennyh sistem* [The methodological basis for the external design of targeted processes and dedicated systems]. Moscow: AST, 2006. 502 p. (In Russian)
3. Kozichev V.N., Kargin V.N., Shirmanov A.V., Goloshev S.P. Prospects for creation of corporate automated information systems for military use. *Voennaja mysl'* [Military Thought]. 2015. No. 10. Pp. 19-32. (In Russian)
4. Legkov K.E., Nesterenko O.E. Ob upravlenii riskami pri obespechenii bezopasnosti funkcionirovanija infokommunikacionnyh setej special'nogo naznachenija [On risk management in ensuring the security of the functioning of infocommunication networks of a special purpose]. *Vestnik Jaroslavskogo zenitnogo raketnogo instituta protivovozdushnoj oborony* [Bulletin of the Yaroslavl Anti-aircraft Missile Institute of Air Defense]. 2014. No. 4. Pp. 38-43. (In Russian)
5. Volkov V.F., Tolmachev A.A. Technique of definition of the guaranteed probabilities of performance of the problem of information support of process of service again deduced objects. *Radiopromyshlennost'* [Radio industr]. 2015. No. 1(1). Pp. 127-137. (In Russian)
6. Ratushnyak G. Ja., Lisickij V.V., Potapov A.N., Method of the optimum distribution resource in condition of the modernizations. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy* [Information-measuring and Control Systems] 2010. Vol. 8. No. 5. Pp. 17-23. (In Russian)

Information about authors:

Volkov V.F., PhD, full professor, professor of the Department of system analysis and mathematical software of automated control systems (forces), Military Space Academy;
Tolmachev A.A., PhD, head of the training command post (joints and parts of the missile warning) of the Department of combat use of forces and means of rocket-space defense, Military space Academy.

For citation: Volkov V. F., Tolmachev A. A. Methodology of risk and uncertainty in the early stages of the development life-cycle. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 3. Pp. 63-70.

SOME PECULIARITIES OF THE ORGANIZATION OF THE DIGITAL RADIO BROADCASTING NETWORK OF THE LONG-WAVE RANGE

Belyansky Vladimir Borisovich,

PhD, Associate Professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics,
Moscow, Russia, belyanskyv@gmail.com

Pronina Evgenia Dmitrievna,

graduate student, Moscow Technical University of Communications and Informatics,
Moscow, Russia, jane19912007@yandex.ru

Batuhug Uguumur,

master student, Moscow Technical University of Communications and Informatics,
Moscow, Russia, Uguumurka@gmail.com

ABSTRACT

When designing a digital broadcasting network for medium-wave and long-wave bands, considering the sufficiently large service areas and the features of servicing these areas in width and longitude, it is advisable to use a trapezoidal zone limited by longitude and latitude lines as a cell of the broadcasting network. Elementary cells of the network will have a clearly defined trapezoidal shape only for very high latitudes (the Arctic is for the territory of Russia), and at lower latitudes the trapezium will practically have the shape of a rectangle. In these cells, the transmitters should be placed at points providing the maximum area utilization rate, which refers to the ratio of the cell area to the actual area covered by the transmitter for a given signal level exceeding the level of interference. The principle of calculating the parameters of a unit cell, taking into account the latitudinal dependence of atmospheric radio interference, is considered. With frequency-territorial planning, an important issue is the development of the principle of sending programs to radio transmitting stations. At high latitudes, the possibility of using geostationary satellites and cable lines is excluded. In this case, the cheapest way to apply the program is to use repeaters that allow you to receive the program from a neighboring radio station located in the right time zone. The receiving antennas of such repeaters should have a significant directivity factor providing a given signal-to-interference ratio. The directive of such receiving antennas can be in the range of 3-12 dB. The receiving array is of the lattice type in the lattice. External interference on the northern and southern latitudes differs not only in their level, but also in statistical parameters. For northern latitudes, it is important to use radio receivers with a low thermal noise factor at the input, and for radio-frequency receivers with impulse-noise compensators, radio receivers can be effective. An important aspect of organizing a digital LW broadcasting network is the development of fairly compact transmission antennas of the LW band and matching devices for these antennas, taking into account the features of modern radio transmitting devices with high efficiency. With the help of these matching device, in principle, it is possible to eliminate the quadratic dependence of the input resistance of the antenna on the frequency due to a very small decrease in the efficiency of the antenna-feeder device.

Keywords: long-wave range; unit cell of network; frequency-territorial planning; repeater; antenna efficiency; matching device; working frequency band.

For citation: Belyansky V. B., Pronina E.D., Batuhug U. Some peculiarities of the organization of the digital radio broadcasting network of the long-wave range. *H&ES Research*. 2017. Vol. 9. No. 3. Pp. 71-76.

In Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI) for several years study was carried out on the design of digital broadcasting networks for MW and LW range [1–5]. According to the published results of these studies, the following conclusions can be drawn:

1. The service area of the LW station of the range has a diameter in the range of 300–1200 km, depending on the latitude and center frequency of the transmitter.

2. At high latitudes, the level of atmospheric interference is significantly lower than at low latitudes.

3. For territories with a low population density, it is advisable to use the lowest frequencies of the considered range.

4. Given the high uneven density of the population of the Russian Federation and a limited number of operating frequencies, the broadcast network of the LW band is best implemented using a "cluster" method.

From the foregoing it follows that, taking into account sufficiently large areas of service areas and taking into account the specifics of servicing these areas in width and longitude, it is expedient to use a trapezoidal zone limited by longitude and latitude lines as a cell of the broadcasting network (fig. 1). A grid of this type is self-adjoint, potentially reducing the number of radio stations covering the served territory. Obviously, the unit cells of the network will have a clearly defined trapezoidal shape only for very high latitudes (the Arctic is for the territory of Russia), and at lower latitudes the trapezium will practically have the shape of a rectangle. Consider the features of the partition of the territory served by digital broadcasting of the LW range into unit cells. In these cells, the transmitters should be placed at points providing the maximum area utilization coefficient η , which refers to the ratio of the cell area to the actual area covered by the transmitter for a given excess of the signal level above the interference level (1). As a rule, when planning a broadcasting network, the transmission pattern of the transmitting antenna is assumed to be non-directional, and the level of interference is the same throughout the entire territory under consideration. In this case, the transmitter is placed

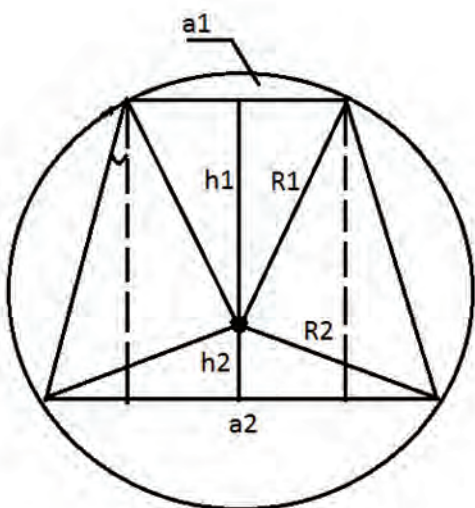


Fig.1. The geometry of the unit cell of broadcasting

in the center of the unit cell. If the interference level is sufficiently strong from the latitude or longitude coordinates, this is certainly a suboptimal solution, and the transmitter coordinates should be shifted from the center of the serviced territory in such a way as to optimize the area utilization factor. In addition, such a correction of the coordinates of the transmitter is suitable, for example, in the case of the cost of a microwave link delivering the program to a broadcast transmitter. Let us consider here the principle of calculating the parameters of an elementary cell, taking into account the latitudinal dependence of atmospheric radio interference.

Let R_1 be the radius of a circle in which the signal-to-noise ratio exceeds a given level if the noise level is set at the latitude of the trapezoid vertex (the vertex of this trapezoid is assumed to be a_1). In fig. 1, the angle α is determined by the latitude of the apex of the trapezium. When calculating, it is necessary to determine the length of the trapezoid base a_2 , the trapezium height $h = h_1 + h_2$, and the components of this height h_1 (2) and h_2 (3), which determine the coordinates of the transmitting radio station. Let the coefficient k determine the ratio of the interference level at the latitude of the vertex of the trapezium and on its basis. Then, the utilization coefficient η is a function of the length of the vertex of trapezium a_1 and this coefficient k

$$\eta(a_1, k) = \frac{S_{tr}(a_1, k)}{S_{st}(a_1, k)} \tag{1}$$

$$h_1(a_1) = \sqrt{R_1^2 - \frac{a_1^2}{4}} \tag{2}$$

From the geometric relations for the unit cell in fig. 1 it follows that in the first approximation with a sufficiently high accuracy, $h_2(a_1, k)$ will be equal to

$$h_2(a_1, k) = \sqrt{R_2^2(k) - \frac{a_1^2}{4} + \left(\frac{1}{2} a_1 \alpha(a_1)\right)^2} - a_1 h_1(a_1) \alpha(a_1) - \frac{1}{2} a_1 \alpha(a_1) \tag{3}$$

Assuming that the antenna pattern is isotropic and taking into account the values of h_1 and h_2 , it is easy to calculate the area utilization coefficient η for a number of values of the utilization factor k as a function of the length of the vertex a_1 .

Fig. 2 shows the dependence of the utilization coefficient η as a function of a_1 and k for the case when the trapezium vertices are at the latitude $\varphi = 78^\circ$. It follows from the calculations that the maximum of $\eta(a_1, k)$ depends weakly on the coefficient k , so the calculation for several values of k makes it possible to determine with high accuracy the coordinates of the radio transmitting center.

An important issue in frequency-territorial planning is the development of the principle of sending programs to radio transmitting stations. At high latitudes, the possibility of using geostationary satellites and cable lines is excluded. In this

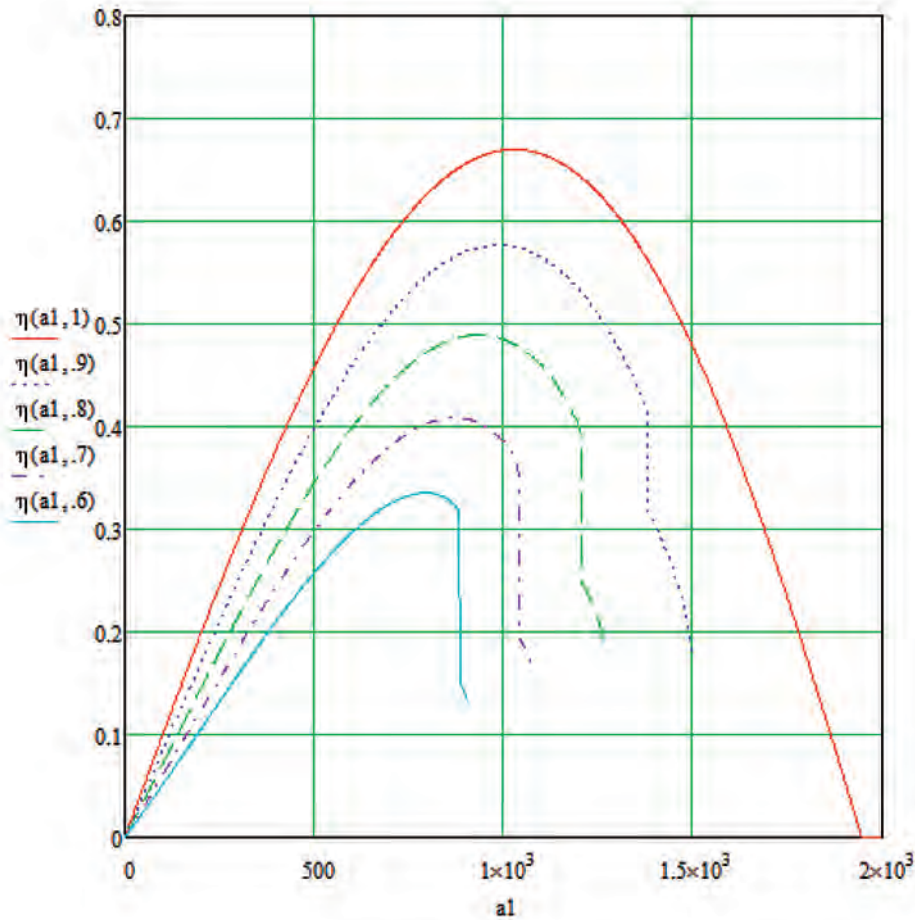


Fig. 2. Dependence of the coverage ratio on the length of the upper base of the trapezium

case, the cheapest way to apply the program is to use repeaters that allow you to receive the program from a neighboring radio station located in the right frequency zone. The use of repeaters is also possible for the supply of programs from the territory of the Russian Federation to adjacent territories. At the same time, the receiving antennas of such repeaters should have a significant gain that ensures a given signal-to-interference ratio. It is determined that the gain of such receiving antennas can be in the range of 3–12 dB. It is believed that it is theoretically possible to create antennas of arbitrarily small dimensions with arbitrarily large amplification [13]. However, antennas with "over-amplification" have high instability of their characteristics. Therefore, in the case under consideration, the antennas of the LW transponder should be provided with a tuning system that automatically turns on at specified intervals. The authors of the article propose a receiving array of lattice type lattice. Such an antenna array provides a high gain factor and a convenient tuning algorithm.

The question of the nature of the interference in the LW range deserves a separate consideration. Obviously, external noise on the northern and southern latitudes differ not only in their level, but also in the statistical parameters (fig. 3). And if the use of radio receivers with a low coefficient of thermal

noise at the input is relevant for northern latitudes, then radio receivers with impulse-noise compensators can be effective for southern latitudes, which have now been developed quite well [7–10]. In the technical literature, there are many publications on the nature of atmospheric radio interference, but to date they have not been fully analyzed in relation to the problems of digital broadcasting LW [14,15]. The authors believe that noise immunity of mass radio receivers for digital LW broadcasting should be considered from both a technical and an economic point of view. In principle, the domestic industry has great experience in creating radio receivers with high noise immunity and noise immunity. Apparently, the best solution to the problem of creating efficient radio receivers for mass use is the development of a basic receiver with various options. Such a radio receiver is interfaced with the basic version of the design, giving the consumer the opportunity to choose the most acceptable option for him. For territories directly adjacent to radio transmission centers, it is possible to develop very cheap radio receivers that do not need power supplies.

An important aspect of organizing a digital LW broadcasting network is the development of sufficiently compact transmission antennas of the LW range and matching devices for these antennas, taking into account the features of modern radio transmitting

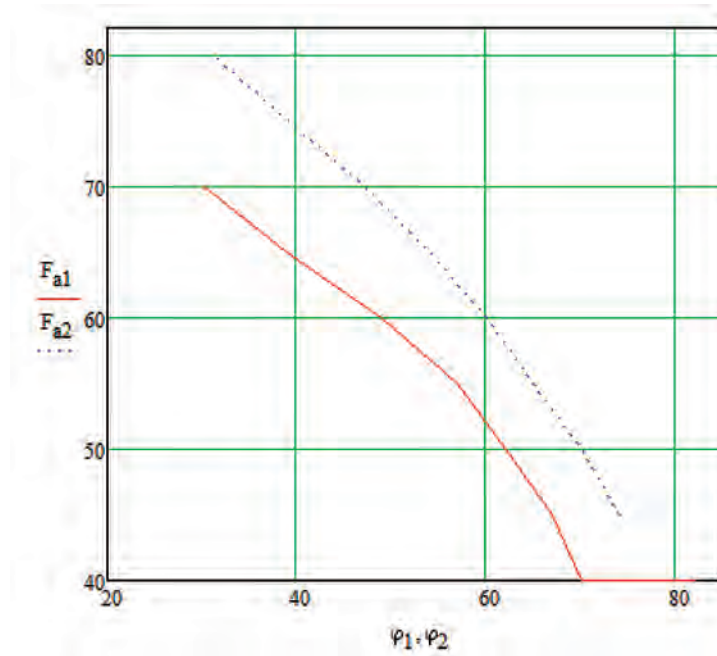


Fig. 3. Dependence of the external noise factor F_a on the longitude φ (for given latitudes $\gamma_1 = 180^\circ, \gamma_2 = 75^\circ$)

antennas with high efficiency [11–12]. At present, the possibility of overcoming the Chu-Harrington-Fano limit is proved, which creates the basis for the development of antennas of this type [6]. Reduce the cost of antennas and increase the level of radiated power is also possible when using the principle of adding power in the air. The matching devices, when making small losses, can ensure the implementation of radio transmission systems with a high operating frequency band and a high level of agreement.

So, for example, when using the corrected SS in fig. 4. the working band of the antenna (determined by the efficiency of the antenna-feeder device) is doubled if the efficiency is allowed to decrease by 18% (fig. 5). It is obvious that in this case the matching of the antenna with the transmitter remains equal to unity in an unlimitedly wide frequency range. With an efficiency AFD of 10%, the bandwidth is increased by a factor of 1.5. In addition to this correction of the SS principle, it is possible to eliminate

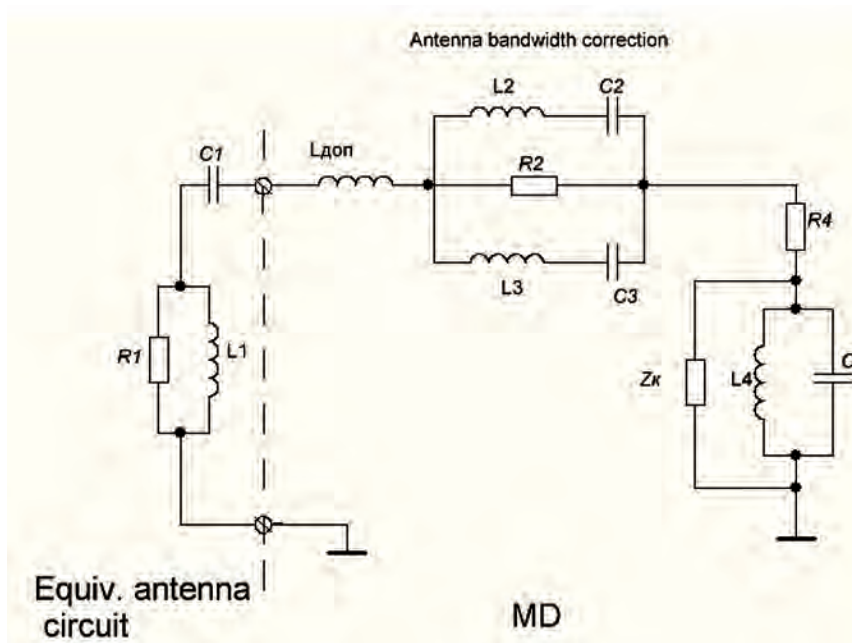


Fig. 4. Correction of the matching device (corrected MD).

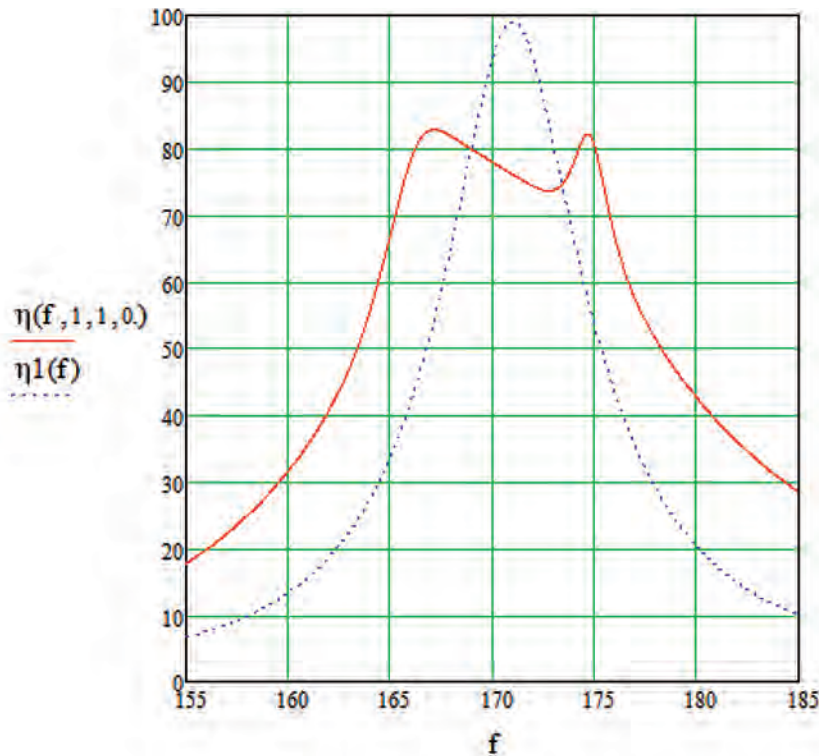


Fig. 5. Working band of the antenna with the initial and corrected MD.

the quadratic dependence of the antenna input resistance due to a very small decrease in the efficiency of the AFD.

In conclusion, the authors consider it a pleasant duty to express gratitude to Oleg Varlamov for a number of useful comments.

Literature

1. Varlamov O.V. A way to organize a global network of digital broadcasting in the range of LW. *T-Comm*. 2015. Vol. 9. No. 5. Pp. 63–68. (In Russian)
2. Varlamov O.V. Features of frequency-spatial planning of broadcasting networks DRM bands LW and MW. *T-Comm*. 2013. No. 9. Pp. 43–46. (In Russian)
3. Varlamov O.V. Correctly planning of drm broadcasting networks. *Elektrosvyaz'*. 2014. No. 6. Pp. 26–34. (In Russian)
4. Varlamov O.V. Development of requirements for receiving equipment of digital broadcasting networks of the DRM standard. *T-Comm*. 2013. No. 9. Pp. 39–42. (In Russian)
5. Varlamov O.V. Development of the national regulatory framework for digital broadcasting of the DRM standard. *T-Comm*. 2013. No. 9. Pp. 47–50. (In Russian)
6. Belyanskiy V.B. Is it possible to overcome the Chu-Harrington limit? *T-Comm*. 2013. No. 8. Pp. 24–27. (In Russian)
7. Bykhovsky M.A. Single-channel compensators of radio interference in communication systems. *Radiotekhnika [Radioengineering]*. 1981. No. 11. (In Russian)
8. Bykhovsky M.A., Pavlyuk A.P. Approach to the development of a unified methodology for analyzing EMC radio systems. *Telecommunication Journal*. 1993. Vol. 60-II. (In Russian)
9. Bykhovsky M.A. Management of the use of the radio-frequency spectrum and the development of radio communications and broadcasting in Russia. *Elektrosvyaz'*. 1997. No. 12. Pp. 17–23. (In Russian)
10. Bykhovskiy M.A. Method of perspective planning of the use of frequency bands by radio stations of fixed and mobile services. *Elektrosvyaz'*. 1994. No. 7. (In Russian)
11. Belyanskiy V.B., Pronina E.D. Miniature transmitting antennas long wavelength digital broadcasting standard. *Trudy Severo-Kavkazskogo filiala Moskovskogo tekhnicheskogo universiteta svyazi i informatiki* [Proceedings of the North Caucasian Branch of the Moscow Technical University of Communication and Informatics]. 2015. Pt. 1. Pp. 226–229. (In Russian)
12. Pronina E.D. Modernization of the broadcasting stations of the LW of the range, taking into account the DRM standard. *Trudy Severo-Kavkazskogo filiala Moskovskogo tekhnicheskogo universiteta svyazi i informatiki* [Proceedings of the North-Caucasian Branch of the Moscow Technical University of Communications and Informatics]. 2014. No. 1. Pp. 307–311. (In Russian)
13. Belyanskiy V.B., Proshin A.B., Khudyakov K.N. Antennas LW, MW, and SW bands of digital audio broadcasting of reduced dimensions. *T-Comm*. 2013. No. 8. Pp. 28–29. (In Russian)
14. Recommendation ITU-R P. 372–11 (09/2013). Radio noise. Geneva: ITU, 2013. 78 p.
15. *Handbook on "National Spectrum Management"*. Geneva: Radiocommunication Bureau, ITU, 1995. 340 p.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТИ ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ ДЛИННОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

Белянский Владимир Борисович,

к.т.н., доцент Московского технического университета связи и информатики,
Москва, Россия, belyanskyv@gmail.com

Пронина Евгения Дмитриевна,

аспирант Московского технического университета связи и информатики,
Москва, Россия, jane19912007@yandex.ru

Батхуяг Угуумур,

магистрант Московского технического университета связи и информатики,
Москва, Россия, uguumurka@gmail.com

АННОТАЦИЯ

При проектировании сети цифрового радиовещания средневолнового и длинноволнового диапазонов с учетом достаточно больших площадей территорий обслуживания и, учитывая особенности обслуживания этих площадей по ширине и долготе, в качестве ячейки сети радиовещания целесообразно использовать трапецеидальную зону, ограниченную линиями долгот и широт. Элементарные ячейки сети будут иметь четко выраженную трапецеидальную форму только для очень высоких широт (Арктика – для территории России), а на более низких широтах трапеция практически будет иметь форму прямоугольника. В этих ячейках передатчики следует размещать в точках, обеспечивающих максимальный коэффициент использования площади, под которым понимается отношения площади ячейки к фактической площади, покрываемой передатчиком при заданном превышении уровня сигнала над уровнем помех. Рассматривается принцип расчета параметров элементарной ячейки, учитывающей широтную зависимость атмосферных радиопомех. При частотно-территориальном планировании важным вопросом является разработка принципа подачи программ на радиопередающие станции. На высоких широтах исключается возможность использования геостационарных спутников и кабельных линий. В этом случае наиболее дешевым способом подачи программы является применение ретрансляторов, которые позволяют принимать программу от соседней радиостанции, находящейся в нужном частотном поясе. При этом приемные антенны таких ретрансляторов должны иметь существенный коэффициент усиления, обеспечивающий заданное соотношение «сигнал-помеха». Коэффициент усиления таких приемных антенн может находиться в пределах 3-12 дБ. Авторами работы предлагается приемная антенная решетка типа «решетка в решетке». Внешние помехи на северных и южных широтах отличаются не только своим уровнем, но и статистическими параметрами. Для северных широт актуальным является использование радиоприемников с низким коэффициентом теплового шума по входу, а для южных широт эффективными могут оказаться радиоприемники с компенсаторами импульсных помех. Важным аспектом организации сети цифрового длинноволнового радиовещания является разработка достаточно компактных передающих антенн длинноволнового диапазона и согласующих устройств для этих антенн с учетом особенностей современных радиопередающих антенн с высоким коэффициентом полезного действия. Кроме такой коррекции согласующего устройства в принципе возможно устранить квадратичную зависимость входного сопротивления антенны за счет весьма небольшого понижения коэффициента полезного действия антенно-фидерного устройства.

Ключевые слова: длинноволнового диапазон; элементарная ячейка сети; частотно-территориальное планирование; ретрансляторы; коэффициент полезного действия антенны; согласующее устройство; рабочая полоса частот.

Для цитирования: Белянский В. Б., Пронина Е. Д., Батхуяг У. Некоторые особенности организации сети цифрового радиовещания длинноволнового диапазона // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 3. С. 71-76.