



**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА
– ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА:**

Николашин Ю.Л. Советник генерального директора ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА:

Кулешов И.А. Заместитель генерального директора по научной работе ПАО «Интелтех». Д.т.н., доцент

**ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА
(Председатель редколлегии):**

Будко П.А. Ученый секретарь ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

Катанович А.А. Главный научный сотрудник НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия имени Н.Г. Кузнецова». Д.т.н., профессор. Заслуженный изобретатель РФ

Кузичкин А.В. Заместитель генерального директора Научно-исследовательского института телевидения по информационным технологиям. Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

Курносое В.И. Главный специалист ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор. Заслуженный работник связи РФ

Лычагин Н.И. Советник генерального конструктора ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор

Мирошников В.И. Генеральный конструктор ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

Половинкин В.Н. Научный руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

Присяжнюк С.П. Генеральный директор ЗАО «Институт телекоммуникаций». Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

Чуднов А.М. Профессор кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Д.т.н., профессор

Яшин А.И. Заместитель генерального конструктора – научный руководитель работ ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Бобровский В.И. ООО «Лаборатория инфокоммуникационных сетей» (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., доцент

Винограденко А.М. Военная академия связи (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., доцент

Габриэлян Д.Д. ФНПЦ «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» (г. Ростов-на-Дону). Д.т.н., профессор

Густов А.А. ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург). Д.в.н., профессор

Дементьев В.Е. ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., доцент

Дорогов А.Ю. ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., доцент

Жуков Г.А. ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург). К.т.н., старший научный сотрудник

Куприянов А.И. Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет). Д.т.н., профессор

Легков К.Е. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург). К.т.н., доцент

Липатников В.А. Военная академия связи (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

Макаренко С.И. Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., доцент

Маковий В.А. АО «Концерн «Созвездие» (г. Воронеж). Д.т.н., старший научный сотрудник

Минаков В.Ф. Санкт-Петербургский государственный экономический университет (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

Михайлов Р.Л. Череповецкий военный ордена Жукова университет радиоэлектроники (г. Череповец). Д.т.н.

Одоевский С.М. Военная академия связи (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

Пашинцев В.П. Северо-Кавказский федеральный университет (г. Ставрополь). Д.т.н., профессор

Путилин А.Н. ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

Федоренко В.В. Северо-Кавказский федеральный университет (г. Ставрополь). Д.т.н., профессор

Финько О.А. Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С.М. Штеменко (г. Краснодар). Д.т.н., профессор

Цимбал В.А. Филиал Военной академии РВСН имени Петра Великого (г. Серпухов). Д.т.н., профессор

Семенов С.С. Военная академия связи (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

Саенко И.Б. Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской Академии Наук (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

Стародубцев Ю.И. Военная академия связи (г. Санкт-Петербург). Д.в.н., профессор

EDITORIAL BOARD CHAIRMAN – JOURNAL EDITOR-IN-CHIEF:

Nikolashin Y.L. General Director Advisor of PJSC «Inteltech». Doctorate of Technical Sciences

JOURNAL DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Kuleshov I.A. Deputy General Director for Scientific Work of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

JOURNAL DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF (Editorial Board Chairman):

Budko P.A. Academic Secretary of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor

EDITORIAL COUNCIL MEMBERS:

Katanovich A.A. Chief Research Officer of the ISIS Institute of the Navy WUNCC Navy "N.G. Kuznetsov Naval Academy". Doctor of Technical Sciences, professor. Honored Inventor of the Russian Federation

Kuzichkin A.V. Deputy Director General of Information technology television Research Institute. Doctor of Technical Sciences, Professor. Honored Science Worker of the Russian Federation.

Kurnosov V.I. Chief Specialist of PJSC "Inteltech". Doctor of Technical Sciences, Professor. Higher School Honored Employee of the Russian Federation

Lychagin N.I. General Designer Advisor of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor

Miroshnikov V.I. General Designer of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor. Science Honored Worker of the Russian Federation

Polovinkin V.N. Scientific Head of FSUE Krylovsky State Scientific Center, Doctor of Technical Sciences, Professor. Honored Worker of Science of the Russian Federation

Prisyazhnik S.P. Director General of CJSC Institute telecommunications. Doctor of Technical Sciences, professor. Science Honored Worker of the Russian Federation

Chudnov A.M. Department Professor of the Communications Military Academy named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budennyi. Doctor of Technical Sciences, Professor

Yashin A.I. Deputy General Designer – Scientific Supervisor of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor. Science Honored Worker of the Russian Federation

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

Bobrovskiy V.I. LLC "Laboratory of infocommunication networks" (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Vinogradenko A.M. Military Academy of Communications (St. Petersburg) Doctorate of Technical Sciences, Associate Professor

Gabrielyan D.D. FNPC "Rostov-on-Don Scientific Radio Research Institute"(Rostov-On-Don). Doctorate of Technical Sciences, Associate Professor

Gustov A.A. PJSC "Inteltech" (St. Petersburg). Doctor of Military Sciences, Professor

Dementiev V.E. PJSC "Inteltech" (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Dorogov A.Y. PJSC "Inteltech" (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Zhukov G.A. PJSC "Inteltech" (St. Petersburg). Doctorate of Technical Sciences, Senior Researcher

Kupriyanov A.I. Moscow Aviation Institut (National Research University) Doctor of Technical Sciences, Professor

Legkov C.E. Military Space Academy of A.F. Mozhayskiy (St. Petersburg). Doctorate of Technical Sciences, Associate Professor

Lipatnikov V.A. Military Academy of Communications (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

Makarenko S.I. The Bonch-Bruевич St Petersburg State University of Telecommunications" (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Makoviy V.A. Concern Constellation JSC (Voronezh). Doctor of Technical Sciences. Senior Researcher

Minakov V.F. St. Petersburg State Economic University (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

Mikhailov R.L. Cherepovets Military Order of Zhukov University of Asche Radioelectronics (Cherepovets). Doctorate of Technical Sciences

Odoyevsky S.M. Military Academy of Communications (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

Pashintsev V.P. North Caucasus Federal University (Stavropol). Doctor of Technical Sciences, Professor

Putilin A.N. PJSC "Inteltech" (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

Fedorenko V.V. North Caucasus Federal University. (Stavropol). Doctor of Technical Sciences, professor

Finko O.A. Krasnodar Higher Military School named after General of the Army S.M. Stemenko (Krasnodar). Doctor of Technical Sciences, Professor

Tsybmal V.A. Branch of the Great Petr RVSН Military Academy (Serpuhkov). Doctor of Technical Sciences, Professor

Semenov S.S. Military Academy of Communications (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

Saenko I.B. Saint Petersburg Institute of Informatics and Automation of the Sciences Russian Academy (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

Starodubtsev Y.I. Military Academy of Communications (St. Petersburg). Doctor of Military Sciences, Professor

РЕДАКЦИЯ:

Верстка принт-макета: **Мамончикова А.С.**

Дизайн обложки: **Шаутин Д.В.**

Поддержка сетевой версии журнала: **Тюкинеева Л.В.**
Секретарь редакции: **Михайлова Н.В.**

**АДРЕС
РЕДАКЦИИ:**

197342. Россия. г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, дом 8,
Телефон: +7(812) 542-90-54; +7(812) 448-95-97; +7(812) 448-96-84
Факс: +7(812) 542-18-49. E-mail: mce-journal@inteltech.ru.
Официальный сайт: www.inteltech.ru; www.mce-journal.ru



Научно-технический журнал «Техника средств связи» – это рецензируемое научное издание, в котором публикуются результаты научных исследований специалистов в области современных инфокоммуникационных технологий и автоматизированных систем управления, средств связи и информационной безопасности. Журнал является правопреемником издававшихся с 1959 года Министерством промышленности средств связи СССР всесоюзных журналов «Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника проводной связи» и «Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия: Техника проводной связи». С 1975 года журнал издается под названием «Техника средств связи». Учредитель и издатель журнала: Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Адрес учредителя и издателя журнала: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Периодичность выхода журнала 4 номера в год.

Публикация в журнале является научным печатным трудом.

Основное содержание издания представляют собой научные статьи и научные обзоры.

Информация предназначена для детей старше 12 лет.

Журнал зарегистрирован как сетевое и печатное издания в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельства о регистрации средств массовой информации: ПИ № ФС 77 – 80135 и ЭЛ № ФС 77 – 80136 от 31.12.2020 г.

ISSN (print): 2782-2141; ISSN (online): 2782-2133; РИНЦ (eLIBRARY ID: 77074)

Подписной индекс журнала «Техника средств связи» – 79656

*Ссылки для оформления интернет-подписки на журнала: <https://www.akc.ru/itm/means-of-communication-equipment/>
<https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/e79656/>*

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Винокур М. В., Курносое В. И. К вопросу обеспечения максимальной эффективности функционирования комплексов аппаратно-программных средств 2

Винокур М. В., Кулешов И. А., Солозобов С. А., Щукин А. Н. Помехоустойчивость сигналов OWDM в каналах радиосвязи 14

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Кулешов И. А., Спивак А. В., Аксенов С. С. Последовательность синтеза современных коммутационных средств для специальных сетей связи 27

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Иванов Г. Д., Иванов Д. В., Путилин А. Н. Генератор псевдослучайных чисел в станциях сети декаметрового радиосвязи 35

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Раков И. В., Титов Г. С., Талагаев В. И. Системотехнические решения по взаимодействию гетерогенных сетей связи на основе мультиагентных технологий управления 48

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ.

СБОР, ХРАНЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Сопин Д. С., Ткачева Е. А., Васильев Н. В. Повышение качества извлекаемого текста из двоичных образов документов 56

ЭЛЕКТРОННЫЕ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Кирик Д. И., Есенбеков Р. М. Исследование подходов перевода специализированных радиоэлектронных средств для общего применения 63

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Шалаева М. Е., Баринов М. А. Математическая модель оценки достоверности автоматического контроля 76

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Дементьев В. Е., Лепешкин Е. О. Модель формирования профиля функционирования системы безопасности проекта 86

CONTENTS

COMMUNICATION AND TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS

Vinokur M. V., Kurnosov V. I. On the issue of ensuring the maximum efficiency of the functioning of hardware and software complexes 2

Vinokur M.V., Kuleshov I.A., Solozobov S.A., Schukin A.N. Noise resistance of OWDM signals in radio channels 14

MODELING OF COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS

Kuleshov I. A., Spivak A. I., Aksenov S. S. The sequence of synthesis of modern switching means for special communication networks 27

TRANSMISSION, RECEPTION AND PROCESSING OF SIGNAL

Ivanov G. D., Ivanov D. V., Putilin A. N. Pseudorandom number generator in stations of decameter radio network 35

THE CONTROL SYSTEM

Rakov I. V., Titov G. S., Talagaev V.I. Sistemotekhnichesky decisions on interaction of heterogeneous communication networks on the basis of multiagentny technologies of management 48

INFORMATION PROCESSES AND TECHNOLOGIES.

COLLECTION, STORAGE AND PROCESSING OF INFORMATION

Sopin D. S., Tkacheva E. A., Vasiliev N. V. Improving the quality of extracted text from binary images of documents 56

ELECTRONIC AND RADIO SYSTEMS

Kirik D. I., Esenbekov R. M. The Research of Conversion Options for Specialized Radio Electronic Devices for General Applications 63

ADVANCED RESEARCHES

Shalaeva M.E., Barinov M.A. Mathematical model for evaluating the reliability of automatic control 76

INFORMATION SECURITY ISSUES

Dementiev V.E., Lepechkin E.O. Formation model of security system functioning profile of project 86

Рубрики журнала: Анализ новых технологий и перспектив развития техники средств связи • Системы управления • Передача, прием и обработка сигналов • Системы связи и телекоммуникации • Перспективные исследования • Вычислительные системы • Информационные процессы и технологии. Сбор, хранение и обработка информации • Моделирование сложных организационно-технических систем • Вопросы обеспечения информационной безопасности • Интеллектуальные информационные системы • Робототехнические системы • Электронные и радиотехнические системы • Объекты интеллектуальной собственности и инновационные технологии в области разработки средств телекоммуникаций

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 629.396

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-2-2-13

К вопросу обеспечения максимальной эффективности функционирования комплексов аппаратно-программных средств

Винокур М. В., Курносков В. И.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы решения задачи обеспечения максимальной эффективности функционирования комплексов аппаратно-программных средств, обоснования их структуры, а также возможности улучшения их эксплуатационной надежности за счет применения ресурсосберегающих способов эксплуатации в процессе применения по назначению. **Целью работы** является постановка и решение задачи максимизации основных показателей эффективности функционирования комплексов аппаратно-программных средств, таких как средняя наработка на отказ, поступающая нагрузка на различные виды услуг с требуемым качеством, минимально необходимая производительность комплексов аппаратно-программных средств и их энергетические возможности. **Новизна:** в данной постановке задачи критерий эффективности соответствует рассмотрению комплексов аппаратно-программных средств на уровне качества самоорганизации и отображает его целевое предназначение в телекоммуникационной системе, а также отвечает системе предпочтений лица, принимающего решение. **Результат:** заключается в том, что критерий показывает возможность обмена разнородным трафиком в сети с требуемым качеством и минимальным расходом различных ресурсов. При этом в работе предложена комплексная методика обоснования структуры комплексов аппаратно-программных средств, состоящая из частных «Методики сбора и обработки исходной информации для решения задачи построения ресурсосберегающих комплексов аппаратно-программных средств» и «Методики построения ресурсосберегающих комплексов аппаратно-программных средств». **Практическая значимость:** в общем случае решение задач, рассмотренных в работе, позволяет создать телекоммуникационную систему с показателями, обеспечивающими предоставление пользователям сетевого ресурса требуемого качества в заданных объемах, в различных условиях и задачах по связи. При этом реализация потенциальных возможностей создаваемого сетевого ресурса возможна только при эффективном управлении данным ресурсом на всех уровнях обеспечения эксплуатации телекоммуникационной системы.

Ключевые слова: комплекс аппаратно-программных средств, ресурсосберегающие технологии, телекоммуникационная система, эффективность функционирования.

Введение

Эксплуатационно-экономические показатели телекоммуникационной системы (ТКС) во многом определяются эксплуатационно-техническими возможностями комплексов аппаратно-программных средств (КАПС), их образующих. При этом одним из важнейших показателей современных КАПС, характеризующий процесс функционирования мультисервисной ТКС, является их надежность. Сложность реализации используемого и вновь разрабатываемого радиоэлектронного оборудования (РЭО), многообразие режимов его функционирования, динамика условий применения по назначению определяют реализуемость требований по надежности к КАПС, которые в ряде случаев не выполняются.

Вместе с тем вопросы обеспечения безотказности КАПС приобретают особое значение, что обусловлено рядом объективных и субъективных факторов: возрастанием цены отказов; появлением у интегрированных комплексов новых свойств, обусловленных их различной аппаратно-программной реализацией, усугубляющих последствия отказов; необходимостью обеспечения высокой эффективности работы ТКС в условиях дестабилизирующих факторов и т. д. [1].

В соответствии с множественным описанием принципов функционирования КАПС в ТКС и разработанным на его основе комплексом аналитических моделей [2] качество обработки информации в информационных направлениях связи (ИНС) ТКС зависит от средней наработки на отказ КАПС, среднего времени их восстановления и вероятности безотказной работы непересекающихся множеств функциональных преобразований (НМФП), определяемых в том числе их коэффициентом приведения при эксплуатации.

Во многих работах [3, 4] представлена достаточно подробная классификация способов обеспечения выполнения требований по эксплуатационной надежности и отказоустойчивости КАПС на всех стадиях их жизненного цикла. Однако техническая реализация при современном состоянии технологий производства телекоммуникационного оборудования, пока не позволяет получить значительного увеличения (в 10 – 15 раз) средней наработки на отказ КАПС, необходимого для устойчивого функционирования ТКС [5]. Это вызывает необходимость дальнейшего поиска путей повышения безотказности РЭО. В частности, в известной литературе недостаточно полно определена возможность улучшения эксплуатационной надежности КАПС за счет применения ресурсосберегающих способов эксплуатации в процессе применения их по назначению.

Решение задачи обеспечения максимальной эффективности функционирования комплексов аппаратно-программных средств

Из проведенного анализа принципов построения инвариантных по каналообразованию транспортных сетей и выполненных исследований характера функционирования КАПС на сетях, решение задачи «качество сетевого ресурса – расход энергетических ресурсов (материальных средств)» целесообразно рассматривать на основе переключающегося критерия, отвечающего концепции адаптивной организации поведения сложных технических систем [6]:

$$\begin{cases} \max_{t \in T} T_0(\vec{t}) \text{ при } K_{\Sigma \text{ тр}} \leq K_{\Sigma}(t), P_{\text{энер.тр}}(T) \leq P_{\Sigma}(T); \\ \max_{t \in T} \bar{K}(\vec{t}) \text{ при } K_{\Sigma \text{ тр}} \geq K_{\Sigma}(t), P_{\text{энер.тр}} > P_{\Sigma}(t); \\ V \leq V_{\text{доп}}, W(t) \geq W_{\text{тр}}. \end{cases} \quad (1)$$

Задача (1) формулируется следующим образом: необходимо обеспечить такое распределение времени использования различного оборудования многофункциональных КАПС при эксплуатации их в ТКС на заданном интервале времени T : $\vec{t} = [t_1^*, t_2^*, \dots, t_{\xi}^*]^T$, где ξ – количество НМФП в структуре КАПС, которые максимизировали бы: среднюю наработку на отказ $T_0(\vec{t})$ комплекса при $t_i^* \geq 0$ для всех $i = (\overline{1, \xi})$; обслуживание всей поступающей нагрузки $Z(t)$ на различные виды услуг с требуемым качеством (при условии, что минимально необходимая производительность КАПС $K_{\Sigma \text{ тр}} \leq K_{\Sigma}(T)$ меньше его возможностей, а энергетические возможности $P_{\Sigma} \geq P_{\text{энер.тр}}(T)$ превышают их требуемое количество), или: достижение максимальной средней производительности на интервалах времени $Z(t) = Z_{\text{max}}$; выполнение требований по своевременности и достоверности $W(T) \geq W_{\text{тр}}$ передачи различных видов информации на заданном периоде эксплуатации оборудования (при условии, что энергетические возможности комплекса используются в полном объеме с задействованием всех ресурсов, в том числе в случаях воздействия дестабилизирующих факторов и ограничений на объем ресурсов: $V \leq V_{\text{доп}}$).

Критерий (1) соответствует рассмотрению КАПС на уровне качества самоорганизации [6], отображает целевое предназначение КАПС в ТКС и отвечает системе предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР). Критерий показывает возможность обмена разнородным трафиком в сети с требуемым качеством и минимальным расходом различных ресурсов.

Во многих случаях показатели, входящие в выражение (1), имеют противоречивые изменения под воздействием одних и тех же факторов. Так, например

- увеличение $T_0(\bar{t})$ за счет уменьшения нагрузки на КАПС;
- увеличение скорости и достоверности передачи сообщений, за счет увеличения мощности и дополнительного расхода ресурсов;
- уменьшение количества различных функциональных подмножеств, включаемых в КАПС для обеспечения возможности использования принципов ресурсосбережения [6] с целью повышения $T_0(\bar{t})$ и возможность реализации мультисервисной, мультипротокольной архитектуры их построения;
- увеличение скорости передачи в ветвях КАПС для обеспечения своевременности и производительности, а также уменьшение ее для повышения достоверности;
- использование адаптивных систем управления ресурсами коммутационных центров (КЦ), цифровых систем передачи (ЦСП) (частотными, временными, пространственными, энергетическими) для повышения своевременности и достоверности в часы наибольшей нагрузки (ЧНН) и снижение $T_0(\bar{t})$ за счет усложнения оборудования, приводящее к ухудшению производительности $K_{\Sigma}(t)$.

Таким образом, задача обеспечения максимальной эффективности функционирования КАПС является сложной, оптимизационной и требует разумного компромисса между путями повышения $W(t)$, $K_{\Sigma}(t)$ и $T_0(\bar{t})$.

В этом случае цель рационального управления ресурсами: достижение желаемого результата в пределах некоторого интервала времени [7] и обеспечение такого распределения времени активной работы между элементами КАПС, при котором их средняя наработка на отказ (или $T_0(\bar{t})$) становится максимальной. Достижение второй составляющей данной сложной цели, в соответствии с критериальной функцией (1), осуществляется за пределами ЧНН и позволяет получить максимум производительности КАПС в рамках последнего за счет использования ресурсосберегающих технологий.

Комплексная методика обоснования структуры комплексов аппаратно-программных средств

Общую методику построения таких КАПС целесообразно рассматривать комплексно в сочетании двух других методик: «Методики сбора и обработки исходной информации для решения задачи построения ресурсосберегающих КАПС»; «Методики построения ресурсосберегающих КАПС».

Первая включает в себя следующие основные этапы [6].

1) Анализ архитектуры, топологии построения ТКС, ранжирование ее элементов по степени критичности, определение перечня критичных элементов, т. е. КАПС, отказ которых однозначно приводит к перерывам в выполнении функциональных задач, либо к увеличению продолжительности подготовки сетевых ресурсов для предоставления услуг потребителям при выполнении задач по предназначению.

2) Составление обобщенной функциональной схемы КАПС, обеспечивающей выполнение требований $W_{\text{тр}}$ по эксплуатационной надежности (ЭН) для всех видов услуг и ИНС ТКС.

3) Сбор и первичная обработка данных по следующим направлениям:

- топологическое преобразование функциональной схемы КАПС для выделения НМФП;
- обоснование принципов модульной структуры КАПС (на основе базовых несущих конструкций (БНК));
- выбор элементной базы для реализации КАПС с требуемой интенсивностью отказов невосстанавливаемых элементов;
- составление логической структурной схемы надежности КАПС;
- определение математического ожидания энергетических характеристик КАПС за счет совместного использования режимов работы функциональных подмножеств.

4) Расчет вероятностей исправной и безотказной работы НМФП КАПС для внезапных отказов на основе справочных данных в заданные интервалы времени: расчет вероятности повреждений НМФП.

5) Оценивание степени равнопрочности НМФП КАПС.

6) Построение функций вероятности безотказной работы (ВБР) конфигураций КАПС.

Основным содержанием второй методики является получение оценок ВБР конфигураций КАПС от объема различных видов избыточности и режимов их эксплуатации, а также разработка алгоритмов реконфигурации структуры, в зависимости от внешних и внутренних условий эксплуатации. Она включает в себя следующие основные этапы:

1) Определение необходимого для каждого КАПС объема резерва максимизирующего $\bar{K}(\vec{t})$ (1) на заданном периоде функционирования ТКС.

2) Построение зависимостей значений ВБР элементов КАПС в зависимости от видов вводимой избыточности в КАПС.

3) Определение рационального плана формирования резервов элементов КАПС. На этом этапе производится:

- отыскание вектора рациональных управляющих воздействий для каждого элемента КАПС с учетом их коэффициентов приведения;
- расчет ВБР каждого элемента КАПС, достигаемых при реализации рационального плана формирования резервов;
- определение рационального значения суммарных эксплуатационных затрат на содержание каждого элемента КАПС;
- расчет вероятности успешного выполнения функциональных задач всеми конфигурациями критичных КАПС в перспективных ТКС.

Структура методики построения КАПС представлена на рис. 1.

Учитывая тот факт, что «Методика сбора и обработки информации для решения задачи построения КАПС» включает этапы, содержание которых достаточно подробно отражено в известной научно-технической литературе, целесообразно основное внимание уделить второй методике [2].

Проведенный анализ процессов эксплуатации и восстановления КАПС показал, что для решения широкого класса задач по управлению функционированием ТКС важное значение имеет умение оценивать состояние ее элементов. Следовательно, качество эксплуатации КАПС в значительной мере определяется уровнем организации диагностического обеспечения. Под последним понимают [8] комплекс взаимосвязанных правил, методов, алгоритмов и средств, необходимых для осуществления диагностирования на всех этапах жизненного цикла объекта.

Для выявления наиболее существенных параметров, влияющих на производительность КАПС, рассмотрим процесс его функционирования, который в виде состояний и событий приведен на рис. 2 и соответствует обобщенному виду (1) множества состояний.

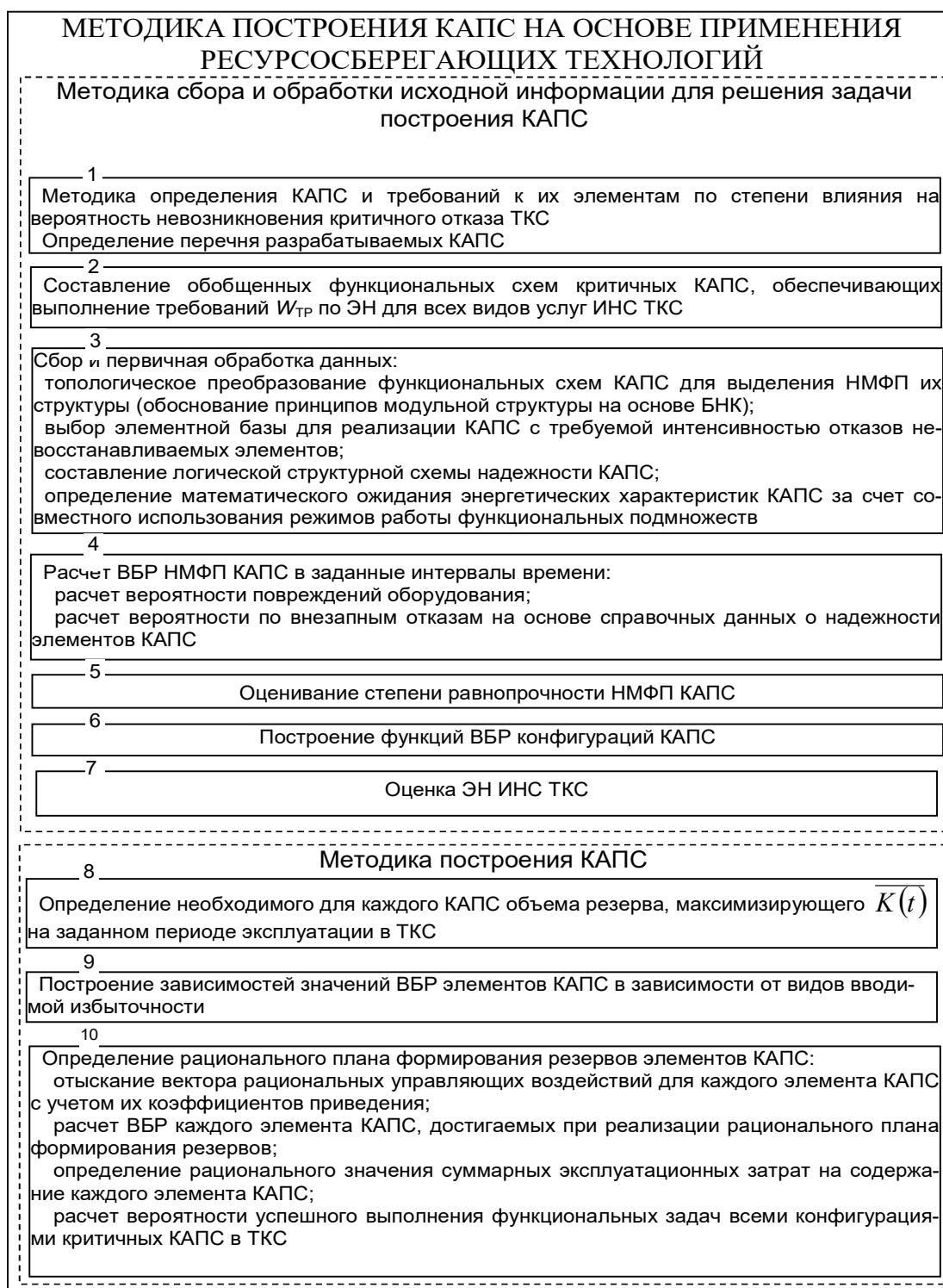


Рис. 1. Структура методики построения ресурсосберегающих КАПС

На рис. 2 цифрами обозначены следующие события:

- 1 – повреждение;
- 2 – отказ;
- 3 – восстановление работоспособности;
- 4 – восстановление правильности функционирования;
- 5 – восстановление исправности.

функционирования, также увеличивает потери производительности. Так, отказы ВСТД усложняют решение задач поиска повреждений, и в процессе эксплуатации КАПС они не всегда обнаруживаются, а, следовательно, при дефектах НМФП приводят к существенному увеличению T_B работоспособности КАПС, которое уменьшает производительность последнего.

Третья часть дефектов ОМ вызывает переход комплексов в аварийный режим работы, и тогда потери производительности ветвей ТКС, образованных КАПС, определяются как $T_{п}$, так и временем восстановления ОМ (T_B). Иногда отказы порежимных множеств функциональных преобразований (ФП) ТКС (для каналообразующих КАПС – канального оборудования) приводят к возникновению частично работоспособных состояний, и потери зависят только от их T_B .

Четвертая группа дефектов переводит комплекс аппаратно-программных средств в состояние «не функционирует», т. е. происходит его полный отказ – событие, заключающееся во временном прекращении его применения по назначению. Тогда потери производительности зависят от времени восстановления ОМ, исходом которого является возникновение одного из состояний: либо «правильно функционирует», либо «работоспособно».

Таким образом, средние потери производительности КАПС ТКС зависят от большого количества факторов, влияющих на изменения $T_{п}$ и T_B . Анализ специальных работ в области разработки системы постоянного мониторинга и управления техническими состояниями техники связи и АСУ и исследование состояния существующего парка техники электросвязи показал, что наиболее существенными из всей совокупности являются:

- уровень агрегатов, заменяемых при отказах;
- виды запасных частей в ЗИП и их соответствие принятому уровню агрегатирования;
- типы повреждений и отказов КАПС;
- наличие ВСТД и степень полноты проверки ею правильности функционирования НМФП;
- наличие системы внешнего контроля (СВК), позволяющей осуществить ручной поиск дефектов;
- наличие диагностических программ, обеспечивающих возможность восстановления КАПС операторами с недостаточно высокой квалификацией и др.

Из рис. 2 следует, что для снижения средних потерь производительности требуется увеличивать полноту автоматической проверки правильности функционирования НМФП, которая снижает число отказов в неконтролируемой части КАПС, и добиваться уменьшения T_B и $T_{п}$. Однако уменьшение T_B и $T_{п}$ за счет автоматизации процессов поиска дефектов приводит к усложнению ВСТД, безотказность которой влияет на качество применения КАПС. Более того, если в КАПС исключить возможность участия оператора с помощью системы внешнего контроля в процессе восстановления, то при отказе ВСТД резко возрастет функция потерь за счет увеличения T_B . В целом разделение процессов восстановления КАПС на восстановление правильности функционирования (способности комплексов передавать информационные потоки сообщений) $T_{ВФ}$, работоспособности $T_{ВР}$ и исправности $T_{ВИ}$ позволяет сократить время простоя аппаратуры при увеличении общего времени перевода системы в исправное состояние. Сложный характер взаимосвязи между отдельными параметрами КАПС требует более детального исследования вопросов определения путей снижения потерь производительности ТКС из-за отказов НМФП.

В [6] показано, что для решения этой задачи в общем виде может быть использована модель, которая учитывает, что у основного множества в КАПС есть аварийное множество (АМ):

$$\begin{aligned} \overline{\Delta K} = & t_B \log_2 L \cdot \Delta B \cdot (y(d_1 P_{OM}^{(C+\alpha_1)} Q_{OM} + d_2 (Q_{OM} (1 - P_{OM}^{(C+\alpha_1)}) - \\ & - P_{OM}^{(C+\alpha_2 a_2)} (1 - P_{OM}^{a_1}) (1 - 2P_{OM}^{(1-\alpha_2)}))) + \alpha_2 P_{OM}^{\alpha_2 a_2} (P_{OM}^C \cdot (2P_{OM}^{(1-\alpha_2)} + \\ & + P_{OM}^{a_1} (1 - 2P_{OM}^{(1-\alpha_2)}) - P_{OM}^C) + y(1 - P_{OM}^C) Q_{OM}) + Z(P_{OM}^C (P_{OM}^{\alpha_2 a_2} \times \\ & \times (P_{OM} - P_{OM}^{(1-\alpha_2)}) (3P_{OM}^{a_1} + \alpha_2 (1 - 2P_{OM}^{a_1}) - 2) - \alpha_2 P_{OM}^{a_1} + 1,5(P_{OM}^{a_1} - 1)) + \\ & + 1,5Q_{OM}) + y(1 - P_{OM}^C) (P_{OM}^{\alpha_2 a_2} (P_{OM} - P_{OM}^{(1-\alpha_2)}) (1 - \alpha_2) - \alpha_2) + 1,5Q_{OM}))), \end{aligned} \quad (2)$$

где $d_1 = t_{по} / (t_B \log_2 L)$; $d_2 = t_{пр} / \log_2 L$ – параметры инерционности ВСТД и оператора, соответственно.

Если элементы основного множества КАПС зарезервированы ($\Delta B = 0$), выражение (2) примет вид:

$$\begin{aligned} \overline{\Delta K}_p = & t_B \log_2 L \cdot B \cdot (d_1 P_{OM}^{(C+a_1)} Q_{OM} + d_2 (Q_{OM} (1 - P_{OM}^{(C+a_1)}) + \\ & + P_{OM}^{(C+\alpha_2 a_2)} (1 - P_{OM}^{a_1}) (2P_{OM}^{(1-\alpha_2)} - 1)) + (1 - P_{OM}^C) (P_{OM}^{\alpha_2 a_2} \alpha_2 Q_{OM} + \\ & + Z(P_{OM}^{\alpha_2 a_2} (P_{OM} - P_{OM}^{(1-\alpha_2)}) (1 - \alpha_2) - \alpha_2) + 1,5Q_{OM}))), \end{aligned}$$

где P_{OM} – вероятность безотказной работы ОМ; C – параметр, связывающий вероятность безотказной работы АМ с P_{OM} , который лежит в пределах $0 \leq C \leq 1$; $Q_{OM} = 1 - P_{OM}$; $\alpha_1 \geq 0$ – параметр, связывающий вероятность безотказной работы встроенной системы функционального контроля (ВСТД-I) с P_{OM} ; α_2 – параметр, связывающий вероятность безотказной работы встроенной системы локализации дефектов (ВСТД-II) с P_{OM} , ($0 \leq \alpha_2 \leq 1$); L – количество радиоэлектронных модулей в структуре ОМ КАПС; $\Delta B = B - B_p$, B – пропускная способность КАПС при работоспособности ОМ; B_p – пропускная способность при переходе КАПС на АМ; $y = B/\Delta B$, $Z = t_o/t_B$, t_o – время поиска повреждений с помощью СВК; t_B – время поиска повреждения с помощью ВСТД-II; $t_{по}$ – время идентификации отказов ОМ ВСТД-I и перехода КАПС на АМ; $t_{пр}$ – время идентификации отказа ОМ СВК и перехода КАПС на АМ.

Проведем анализ влияния параметров a_1 , $t_{по}$ и $t_{пр}$ на потери производительности КАПС. На рис. 3 показаны зависимости относительного выигрыша снижения потерь производительности от использования аварийного режима (от параметра y) для фиксированных значений C , a_2 , a_1 , Z , P_{OM} . Из них видно, что уменьшение безотказности ВСТД-I существенным образом (параметр a_1) ограничивает эффективность применения КАПС.

Более того, в области малых значений y невысокая надежность ВСТД-I приводит к снижению выигрыша, получаемого от введения в КАПС ТКС ВСТД-II. Следовательно, при оценке целесообразности применения аварийного режима для ОМ с автоматизированной проверкой правильности функционирования в рабочем режиме требуется детальный анализ эксплуатационной надежности технических средств контроля. При этом желательно обеспечивать их безотказность, значительно более высокую, чем у основного множества ($a_1 < 0,1$). Важное значение для практических решений имеет также возможное снижение эффективности функционирования КАПС, когда улучшаются параметры ВСТД-I (a_2) за счет увеличения веса $t_{пр}$, вызванного возможными ошибками оператора, а, следовательно, дополнительными затратами времени на проверку работоспособности ОМ с помощью автоматизированного поиска дефектов. Однако относительное ухудшение качества КАПС при уменьшении a_2 может быть компенсировано снижением времени ручного перехода на аварийное множество. Это достигается с помощью косвенных методов контроля работоспособности основного множества или параллельным контролем РЭМ1 с подачей видео и (или) звуковых сигналов оператору.

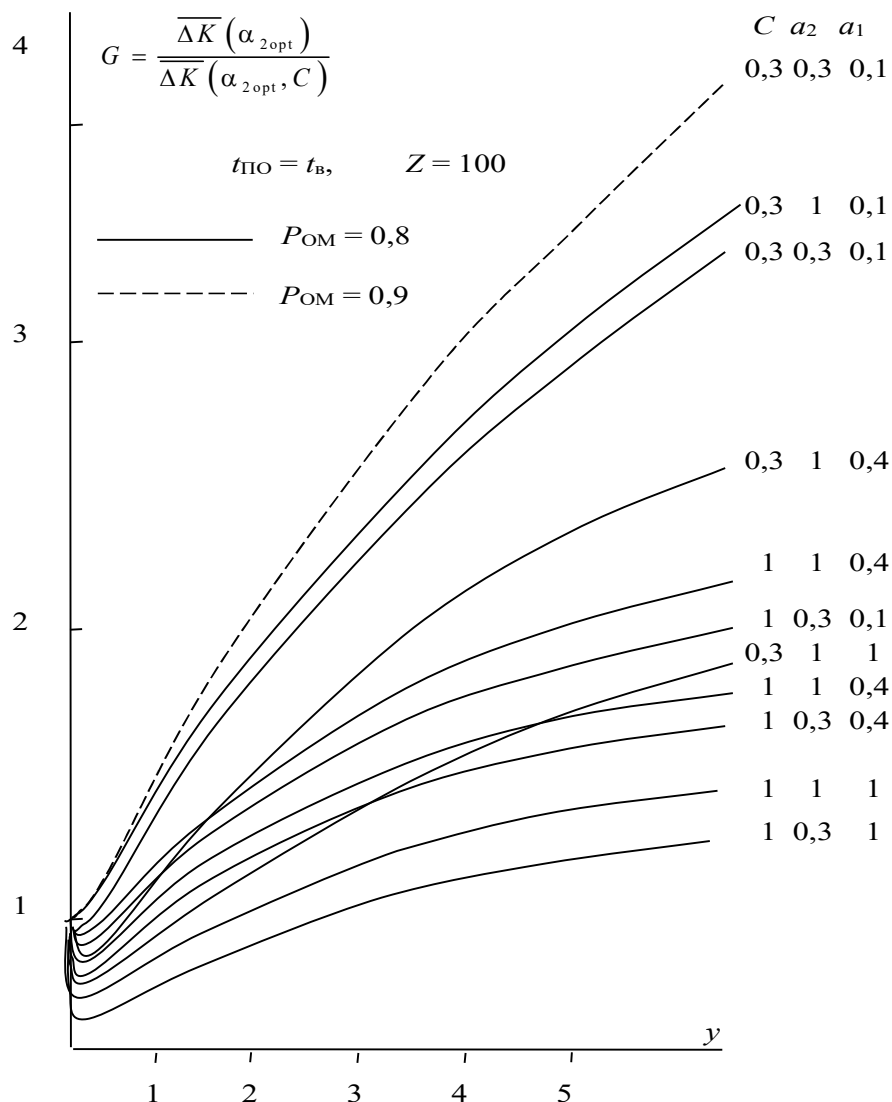


Рис.3. Оценка влияния безотказности ВСТД-I на эффективность применения аварийного режима в КАПС

На рис. 4 представлены графики снижения средних потерь производительности комплексов аппаратно-программных средств телекоммуникационной системы, учитывающие комплексное использование аварийного режима с ВСТД-I для ОМ с ВСТД-II. Из них следует, что, когда $y > 2$, применение АМ всегда целесообразно и даёт выигрыш (совместно с ВСТД-II) $G \geq 3$.

Таким образом, наибольший выигрыш в повышении эффективности комплексов аппаратно-программных средств достигается увеличением параметра – y (рис. 4), а значит, совершенствованием структурных взаимосвязей основного оборудования и обеспечением высокой производительности аварийного множества. Проведённое исследование влияния параметров системы восстановления и её безотказности на производительность комплекса аппаратно-программных средств телекоммуникационной системы показывает существование областей, в которых наиболее целесообразно изменять тот или иной параметр функции (2), что возможно использовать при синтезе рациональной структуры подсистем (ОМ, АМ) комплексов на основе критериальной зависимости (1).

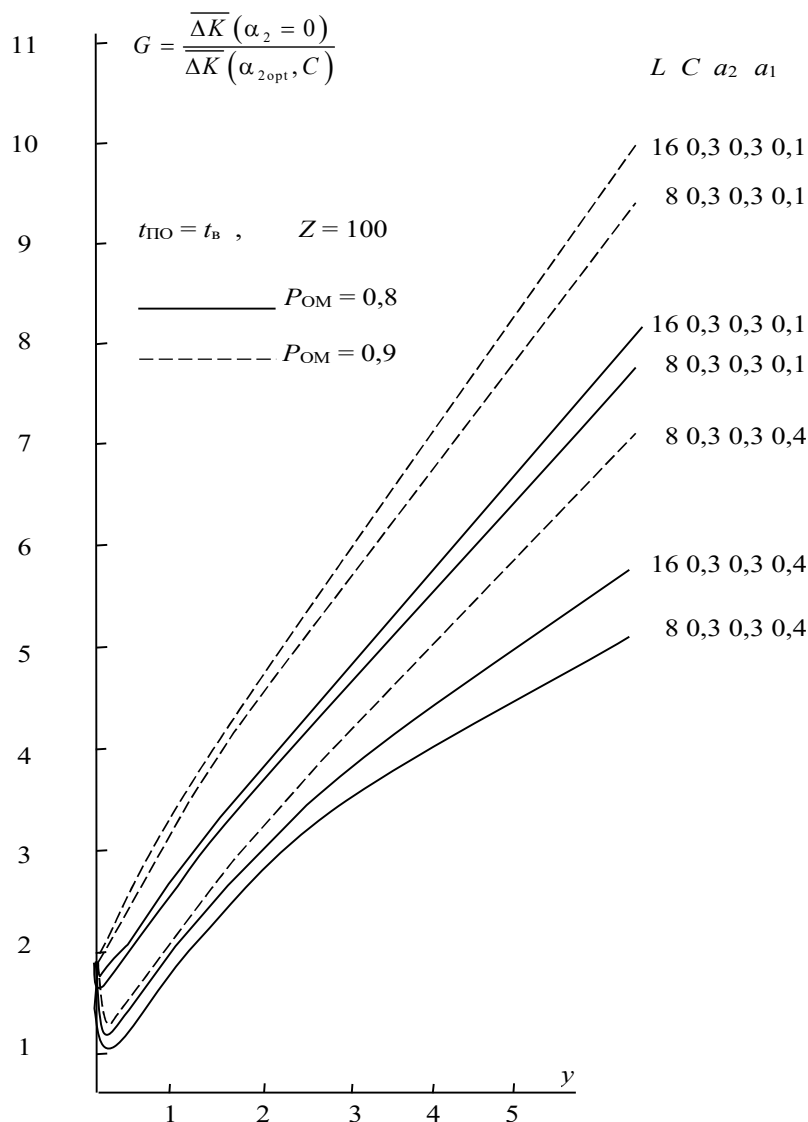


Рис. 4. Общий выигрыш в эффективности функционирования КАПС от применения аварийного режима с ВСТД-I и ВСТД-II

Заключение

Комплексная методика (рис. 1) позволяет обосновать структуру КАПС, обладающую минимальной избыточностью с возможностью рационального расхода ресурса в процессе эксплуатации.

В общем случае решение задач, рассмотренных в данной статье, позволяет создать телекоммуникационную систему с показателями, обеспечивающими предоставление пользователям сетевого ресурса требуемого качества в заданных объемах, в различных условиях и задачах по связи.

Однако реализация потенциальных возможностей создаваемого сетевого ресурса возможна только при эффективном управлении данным ресурсом на всех уровнях обеспечения эксплуатации телекоммуникационных систем. Поэтому в дальнейшем целесообразно исследовать методический аппарат управления формируемым ресурсом и возможную техническую реализацию основных предложений по построению ресурсосберегающих КАПС.

Литература

1. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.
2. Курносков В. И. Методологические основы управления качеством функционирования ведомственных телекоммуникационных систем. Монография. – СПб.: ФГУП «НИИ «Рубин», 2007. – 412 с.
3. Бакланов И. А. Измерительные технологии в телекоммуникационных системах. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 183 с.
4. Сифоров В. И. О методах расчета надежности работы систем, содержащих большое число элементов // Радиотехника. 1995. № 4-5. С. 147-156.
5. Курносков В. И., Лихачев А. М. Тенденции технического и технологического развития телекоммуникационных сетей. – СПб.: Изд-во «АБРИС», 1997. – 439 с.
6. Курносков В. И., Лихачев А. М. Методология проектных исследований и управление качеством сложных технических систем электросвязи. – СПб.: Изд-во «ТИРЕКС», 1998. – 496 с.
7. Петухов Г. Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Ч. 1. Методология, методы, модели. – Л.: Изд-во МО, 1989. – 660 с.
8. Ксенз С. П., Лихачев А. М., Климентов В. И. Теоретические и прикладные задачи диагностирования средств связи и автоматизации / Под ред. С. П. Ксенза – Л.: ВАС, 1990. – 227 с.

References

1. Ryabinin I. A. *Nadezhnost' i bezopasnost' strukturno-slozhnyh system* [Reliability and safety of structurally complex systems]. St. Petersburg. Polytechnic Publ., 2000. 248 p. (in Russian).
2. Kurnosov V. I. *Metodologicheskie osnovy upravleniya kachestvom funkcionirovaniya vedomstvennyh telekommunikacionnyh sistem* [Methodological foundations of quality management of functioning of departmental telecommunication systems]. St. Petersburg, FSUE "Research Institute "Rubin" Publ., 2007. 412 p. (in Russian).
3. Baklanov I. A. *Izmeritel'nye tekhnologii v telekommunikacionnyh sistemah* [Measuring technologies in telecommunication systems]. Moscow, Eco-Trends Publ., 1998. 183 p. (in Russian).
4. Siforov V. I. *O metodah rascheta nadezhnosti raboty sistem, soderzhashchih bol'shoe chislo elementov* [On methods for calculating the reliability of systems containing a large number of elements]. Radiotekhnika, 1995. No. 4-5. Pp. 147-156 (in Russian).
5. Kurnosov V. I., Likhachev A. M. *Tendencii tekhnicheskogo i tekhnologicheskogo razvitiya telekommunikacionnyh setej* [Trends in technical and technological development of telecommunication networks]. St. Petersburg, Publishing house "OUTLINE", 1997. 439 p. (in Russian).
6. Kurnosov V. I., Likhachev A. M. *Metodologiya proektnykh issledovanij i upravlenie kachestvom slozhnyh tekhnicheskikh sistem elektrosvyazi* [Methodology of design research and quality management of complex technical telecommunication systems]. St. Petersburg, Publishing house "TIREX", 1998. 496 p. (in Russian).
7. Petukhov G. B. *Osnovy teorii effektivnosti celenapravlennyh processov. Chast' 1. Metodologiya, metody, modeli* [Fundamentals of the theory of the effectiveness of purposeful processes. Part 1. Methodology, methods, models]. Leningrad, Departament of Defense Publ., 1989. 660 p. (in Russian).
8. Ksenz S. P., Likhachev A.M., Klimentov V. I. *Teoreticheskie i prikladnye zadachi diagnostirovaniya sredstv svyazi i avtomatizacii* [Theoretical and applied problems of diagnostics of means of communication and automation]. Edited by S. P. Ksenz. Leningrad, Military Communications Academy Publ., 1990. 227 p. (in Russian).

Статья поступила 27 апреля 2023 г.

Сведения об авторах

Винокур Михаил Викторович – Генеральный директор ПАО «Интелтех». Область научных интересов: проектирование и разработка инфокоммуникационных сетей и систем специального назначения. Тел.: +7-812-295-50-69. E-mail: intelteh@inteltech.ru

Курносов Валерий Игорьевич – доктор технических наук, профессор, заслуженный работник связи Российской Федерации. Главный специалист ПАО «Интелтех». Область научных интересов: системный анализ, проектирование инфокоммуникационных сетей и систем, технологии и средства контроля состояния телекоммуникационных сетей специального назначения. Тел.: +7-921-303-21-05. E-mail: vi-kurnosov@mail.ru

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

On the issue of ensuring the maximum efficiency of the functioning of hardware and software complexes

M. V. Vinokur, V. I. Kurnosov

Annotation. *The article discusses the issues of solving the problem of ensuring the maximum efficiency of the functioning of hardware and software complexes, substantiating their structure, as well as the possibility of improving their operational reliability through the use of resource-saving methods of operation in the process of intended use. **The aim of the work** is to formulate and solve the problem of maximizing the main performance indicators of the functioning of hardware and software complexes, such as the average time to failure, the incoming load on various types of services with the required quality, the minimum required performance of hardware and software complexes and their energy capabilities. **Novelty:** in this formulation of the problem, the efficiency criterion corresponds to the consideration of hardware and software complexes at the level of self-organization quality and reflects its intended purpose in the telecommunications system, and also corresponds to the system of preferences of the decision-maker. **The result:** the criterion shows the possibility of exchanging heterogeneous traffic on the network with the required quality and minimum consumption of various resources. At the same time, the paper proposes a comprehensive methodology for substantiating the structure of hardware and software complexes, consisting of the private "Methods for collecting and processing initial information to solve the problem of building resource-saving hardware and software complexes" and "Methods for building resource-saving hardware and software complexes". **Practical significance:** in general, the solution of the problems considered in the work allows you to create a telecommunications system with indicators that ensure the provision of a network resource of the required quality to users in specified volumes, in various conditions and communication tasks. At the same time, the realization of the potential of the created network resource is possible only with effective management of this resource at all levels of operation of the telecommunications system.*

Keywords: hardware and software complex, resource-saving technologies, telecommunication system, operational efficiency.

Information about Authors

Vinokur Mikhail Viktorovich – General Director of PJSC "Inteltech". Research interests: design and development of infocommunication networks and special purpose systems. Tel.: +7-812-295-50-69. E-mail: intelteh@inteltech.ru

Valery Igorevich Kurnosov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Communications of the Russian Federation. Main expert of PJSC "Inteltech". Research interests: system analysis, design of infocommunication networks and systems, technologies and means of monitoring the state of special-purpose telecommunication networks. Tel.: +7-921-303-21-05. E-mail: vi-kurnosov@mail.ru

Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya str., 8.

Для цитирования: Винокур М. В., Курносов В. И. К вопросу обеспечения максимальной эффективности функционирования комплексов аппаратно-программных средств // Техника средств связи. 2023. № 2 (162). С. 2-13. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-2-2-13.

For citation: Vinokur M. V., Kurnosov V. I. On the issue of ensuring the maximum efficiency of the functioning of hardware and software complexes // Means of Communication Equipment. 2023. No. 2 (162). Pp. 2-13. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-2-2-13 (in Russian).

Помехоустойчивость сигналов OWDM в каналах радиосвязи

Винокур М. В., Кулешов И. А., Солозобов С. А., Щукин А. Н.

Аннотация. *Цель статьи:* демонстрация изменения помехоустойчивости многопозиционных сигналов, сформированных на основе вейвлет-преобразования, в каналах с белым Гауссовским шумом и в каналах с замираниями Райса и Рэлея при использовании модуляции методом квадратичных амплитуд на вейвлет-поднесущих. **Методы:** для формирования и обработки сигналов мультиплексирования с ортогональным вейвлет-разделением при моделировании использовались вейвлет-функции Добеши $db1$ и $db5$. При этом $db1$ соответствует вейвлет-функции Хаара. **Новизна:** приведены временные характеристики быстродействия модуляторов с обратным дискретным вейвлет-преобразованием. Приведены созвездия сигналов на входе демодулятора системы мультиплексирования с ортогональным вейвлет-разделением для различных каналов распространения радиоволн и вероятности ошибки в них, полученные в результате моделирования процессов их формирования и обработки. Представлены графики помехоустойчивости сигналов мультиплексирования с ортогональным вейвлет-разделением при линейной интерполяции, сформированного сигнала, и методом с использованием преобразования Фурье. На графиках, характеризующих помехоустойчивость таких сигналов, представлены результаты теоретического расчета вероятности ошибки, с использованием аналитического выражения для сигналов модуляция методом квадратичных амплитуд и полученные путем моделирования процессов их формирования и обработки. В качестве модулятора, при формировании сигналов мультиплексирования с ортогональным вейвлет-разделением, моделировался модулятор, представленный в работе. **Представлены результаты:** графики созвездий и помехоустойчивости, полученные в результате имитационного моделирования процессов формирования и обработки сигналов модуляция методом квадратичных амплитуд. Выполнен анализ полученных результатов. **Практическая значимость:** результаты работы могут быть реализованы при оценке эффективности комплексов радиосвязи на этапе их разработки.

Ключевые слова: *вероятность ошибки, модуляция методом квадратичных амплитуд, мультиплексирование с ортогональным вейвлет-разделением, отношение сигнал/шум, помехоустойчивость.*

Введение

В последние годы мультиплексирование с ортогональным вейвлет-разделением (OWDM – Orthogonal Wavelet Division Multiplexing) рассматривается как альтернатива мультиплексированию с ортогональным частотным разделением (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

OWDM имеет меньшую вычислительную сложность и более высокую гибкость по сравнению со своим аналогом OFDM.

Однако сигналы OWDM, реализованные на основе вейвлет-преобразования, в настоящее время практически не используются. Это обусловлено прежде всего тем, что те вейвлет-функции, которые могут быть использованы для их формирования, во-первых, создают сигнал со спектром шире чем ширина спектра сигнала при использовании преобразования Фурье, во-вторых, процесс его формирования занимает достаточно длительное время.

В работах [1, 2] представлены модуляторы, которые устраняют эти недостатки за счет применения в них интерполяции с использованием метода преобразования Фурье и нового принципа их построения. Результаты моделирования показали, что при использовании этих подходов по улучшению параметров модуляторов OWDM ширина спектра сформированного ими сигналов соответствует ширине спектра первичного сигнала, а время его формирования значительно сокращается.

1. Оцениваемые параметры модема OWDM сигналов

В качестве оцениваемых параметров выберем параметры быстродействия модема и помехоустойчивости приема сигнала OWDM.

Так при моделировании процесса формирования сигнала, в модуляторе с модулем обратного дискретного вейвлет-преобразования (IDWT – Inverse Discrete Wavelet Transform) общее время формирования одного символа сигнала OWDM (30 вейвелет *db1* в полосе (0,3 – 3,4 кГц) равняется 0,103 с., что составляет 1,3 % от общего времени моделирования, а с модулем, представленным в работе [2], общее время формирования (*repelem*) – 0,02 с., что составляет 0,27 % от общего времени моделирования с этим модулем.

Данные результаты получены при моделировании процесса формирования и обработки сигнала OWDM в оболочке Matlab и представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры быстродействия модема

С модулем IDWT	С новым модулятором
idwt (Calls: 60, Time: 0.103 sec), (1.3 %)	repelem (Calls: 2, Time: 0.02 sec), (0.27 %)
dwt (Calls: 21, Time: 0.013 sec), (0.2 %)	dwt (Calls: 21, Time: 0.052 sec) (0.7 %)

Результаты моделирования показывают, что при использовании модуля, представленного в работе [2] время формирования символа сигнала OWDM уменьшается примерно в 5 раз. В каналах прямой видимости, например в канале с аддитивным белым Гауссовым шумом (AWGN – Additive White Gaussian Noise), помехоустойчивость приема сигнала зависит от соотношения сигнал-шум на входе демодулятора сигнала OWDM и размера созвездия сигнала для модуляции методом квадратичных амплитуд (QAM – Quadrature Amplitude Modulation) на вейвлет-поднесущей.

На входе демодулятора сигнала действуют символы OWDM, а на его выходе формируются QAM символы, имеющие в зависимости от размерности созвездия, определенную фазу и амплитуду.

Вероятность ошибки сигнала QAM в канале AWGN определяется выражением [3]

$$P_{\text{ош}} = 2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt[2]{M}} \right) / \log(\sqrt[2]{M}) \cdot \left(\sqrt{\frac{6 \cdot \log(\sqrt[2]{M}) \cdot 10^{\frac{E_b/N_0}{10}}}{(M-1)}} \right). \quad (1)$$

В каналах с многолучевым распространением радиоволн (замираниями) помехоустойчивость приема сигнала также зависит от соотношения сигнал-шум на входе демодулятора сигнала OWDM и размера созвездия QAM сигнала на вейвлет-поднесущей.

Вероятность ошибки сигнала QAM в каналах с замираниями (Рэля, Райса) (Rayleigh, Rician) определяется эмпирическим выражением, которое хорошо согласуется с приложением «berfading» в Matlab.

$$P_{\text{ош}} = \frac{1}{\pi} \left(1 - \sqrt[2]{10^{\frac{E_b/N_0}{10}} / \left(\sqrt[2]{M} + 10^{\frac{E_b/N_0}{10}} \right)} \right), \quad (2)$$

где: E_b/N_0 (dB) = E_s/N_0 (dB) – 10·lg(*M*) – отношение энергии бита к спектральной плотности мощности шума; E_s/N_0 (dB) = E_b/N_0 (dB) + 10·lg(*M*) – отношение энергии символа к спектральной плотности мощности шума; *M* – размер созвездия сигнала QAM на вейвлет-поднесущей.

Таким образом, при расчете теоретической, с использованием выражений (1), (2), и оценке методом имитационного моделирования, вероятностей ошибки в качестве аргументов выбираются параметры E_b/N_0 и *M*, а при моделировании процесса обмена информацией – E_s/N_0 и *M*.

2. Результаты имитационного моделирования процесса формирования и обработки OWM signals

В процессе моделирования проводилось исследование влияния на помехоустойчивость:

- линейной интерполяции и интерполяции с использованием преобразования Фурье сигнала OWM;

- типа вейвлет-функции (*db1*, *db5*);

- типа канала распространения радиоволн (AWGN, Rayleigh, Rician).

Исследования процессов формирования и обработки OWM сигналов проводились в среде MatLab.

В имитационной модели процессов формирования и обработки OWM сигнал формировался и обрабатывался при условиях:

- вейвлет: *db1* → *haar*, *db5*;

- количество вейвлет-поднесущих: 30;

- полоса частот 3100 Гц;

- скорость передачи на вейвлет-поднесущих OWM сигнала: 100 бит/с;

- размер сигнального созвездия: QAM-2^{*n*} (*n* = 4...8) в канале AWGN, QAM-2^{*n*} (*n* = 3...5), *n* – число бит на символ QAM.

2.1. Помехоустойчивость OWM сигналов в каналах прямой видимости

Проанализируем результаты имитационного моделирования процессов формирования и обработки OWM сигналов, с QAM модуляцией на каждой вейвлет-поднесущей.

На рис. 1 представлен график созвездия сигнала OWM на входе демодулятора сигнала OWM при использовании для его обработки вейвлет-функции *db1* и линейной интерполяции.

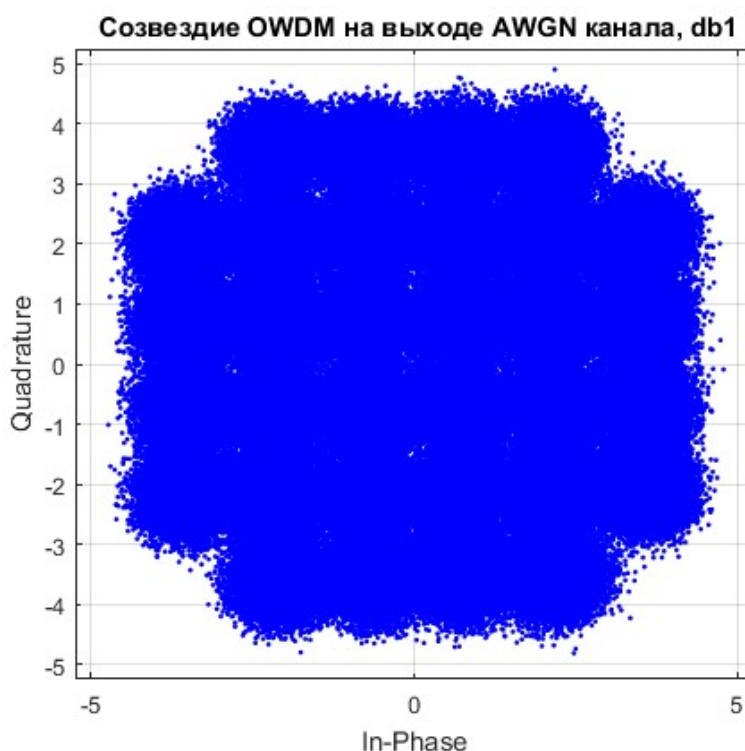


Рис. 1. Созвездие OWM с QAM32 на входе демодулятора OWM

Из рисунка видно, что при линейной интерполяции сигнала OWDM изменение его фазы и амплитуды происходит в созвездии непрерывно. Это свидетельствует о том, что в процессе взаимодействия сигнала с шумами его фаза и амплитуда изменяются по случайному закону и их значения накладываются на другие области созвездия, где демодулятор QAM, стоящий на выходе демодулятора OWDM, воспринимает их как значения из этой области. Это в итоге приводит к появлению ошибок на выходе демодулятора QAM.

На рис. 2 представлены графики (теория и эксперимент) зависимости вероятностей ошибки при приеме сигналов QAM-16, 32, 64, 128, 256, при использовании для обработки в демодуляторе сигнала OWDM, вейвлет-функции $db1$, и линейной его интерполяции при формировании, от отношения сигнал-шум (ОСШ $\rightarrow E_b/N_0$).

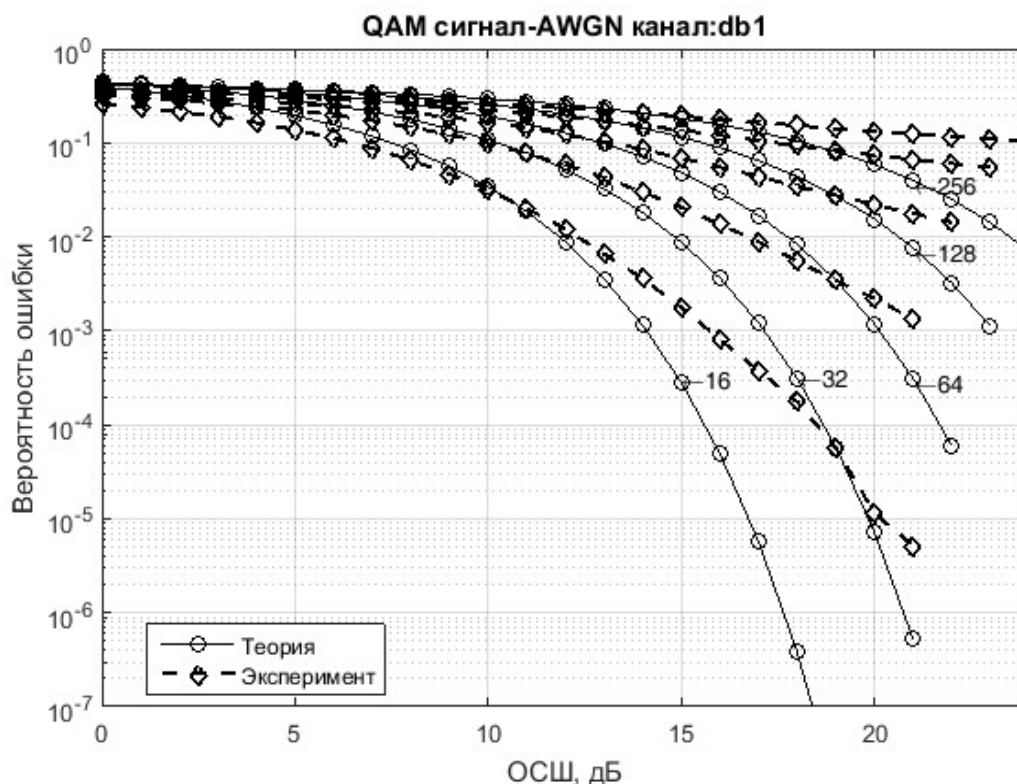


Рис. 2. Вероятность ошибки при приеме сигналов OWDM с QAM

Из рисунка видно, что графики, рассчитанные по формуле (1) отличаются от графиков, полученных в процессе моделирования. Это обусловлено тем, что линейно интерполированный сигнал имеет достаточно широкий спектр частот и при взаимодействии с шумами приводит к большей неопределенности фазы и амплитуды сигнала на выходе демодулятора OWDM, а следовательно на входе демодулятора QAM. Большая неопределенность его фазы и амплитуды, даже при увеличении отношения сигнал-шум, также приводит к их неопределенности на входе демодулятора сигнала QAM. В следствии этого, моделируемый сигнал имеет худшую помехоустойчивость чем помехоустойчивость сигнала, рассчитанного по формуле (1).

На рис. 3 представлен график созвездия сигнала OWDM на входе демодулятора OWDM при использовании для его обработки вейвлет-функции $db1$ и интерполяции его методом преобразования Фурье.

Из рисунка видно, что при интерполяции сигнала OWDM методом преобразования Фурье изменение его фазы и амплитуды происходит в области их значений на выходе модулятора QAM. Это свидетельствует о том, что в процессе взаимодействия сигнала с шумами его фаза и амплитуда изменяются в соответствии с дисперсией шума в канале.

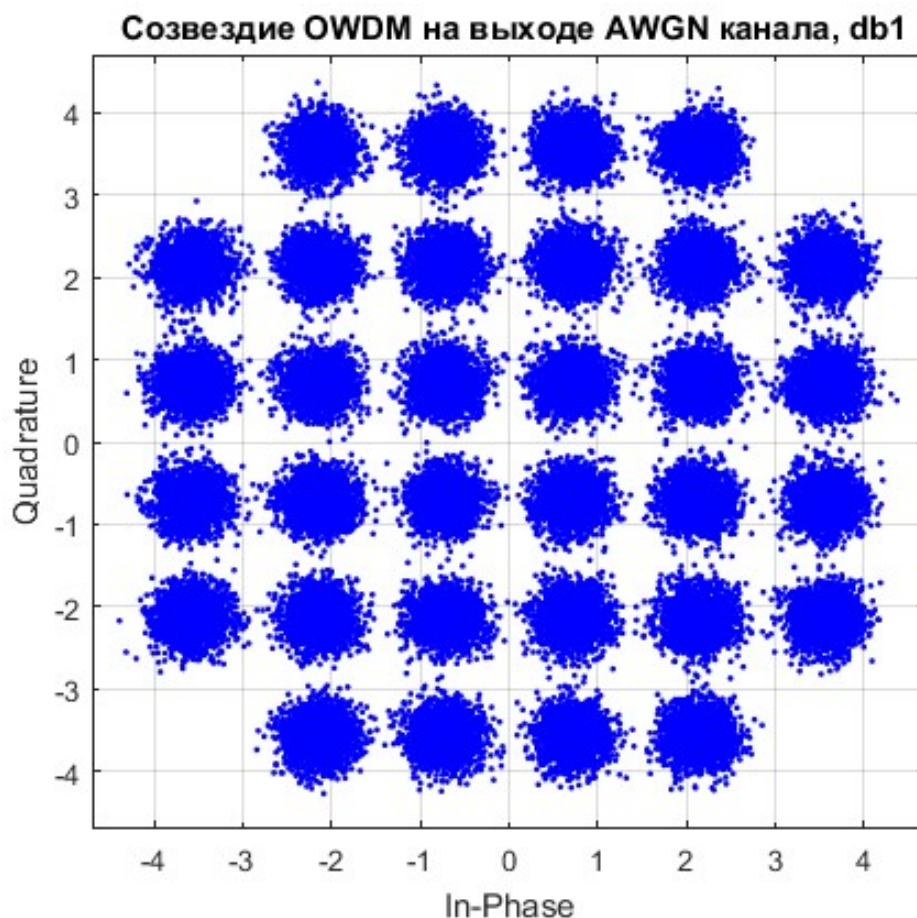


Рис. 3. Созвездие OWDM с QAM32 на входе демодулятора OWDM

На рис. 4 представлены графики (теория и эксперимент) зависимости вероятностей ошибки при приеме сигналов QAM-16, 32, 64, 128, 256 от отношения сигнал/шум ($ОСШ \rightarrow E_b/N_0$) при интерполяции сигнала OWDM методом преобразования Фурье, в канале AWGN. Обработка сигнала OWDM осуществлялась с использованием вейвлет-функции *db1*.

Из графиков видно, что графики вероятности ошибки, рассчитанные по формуле (1), не отличаются от графиков, полученных в процессе моделирования. Это обусловлено тем, что интерполированный методом преобразования Фурье сигнал имеет достаточно узкий спектр частот и при взаимодействии с шумами приводит к тому, что значения фазы и амплитуды сигнала OWDM попадают в область где их дисперсия мало влияет на работу демодулятора сигнала QAM.

На рис. 5 представлен график созвездия сигнала OWDM на входе демодулятора OWDM при использовании для его формирования и обработки вейвлет-функции *db5* и интерполяции его методом преобразования Фурье.

Из рисунка видно, что при интерполяции сигнала OWDM, сформированного с применением вейвлет-функции *db5* методом преобразования Фурье, изменение его фазы и амплитуды на входе демодулятора OWDM происходит хаотично. Как показали результаты моделирования, такое же хаотичное изменение его фазы и амплитуды происходит на выходе модулятора OWDM сигнала. Это свидетельствует о том, что такие вейвлет-функции не могут быть использованы для формирования и обработки сигналов OWDM.

На рис. 6 представлены графики (теория и эксперимент) зависимости вероятностей ошибки при приеме сигналов QAM-16, 32, 64, 128, 256 от отношения сигнал/шум (ОСШ $\rightarrow E_b/N_0$) при интерполяции сигнала OWDM методом преобразования Фурье.

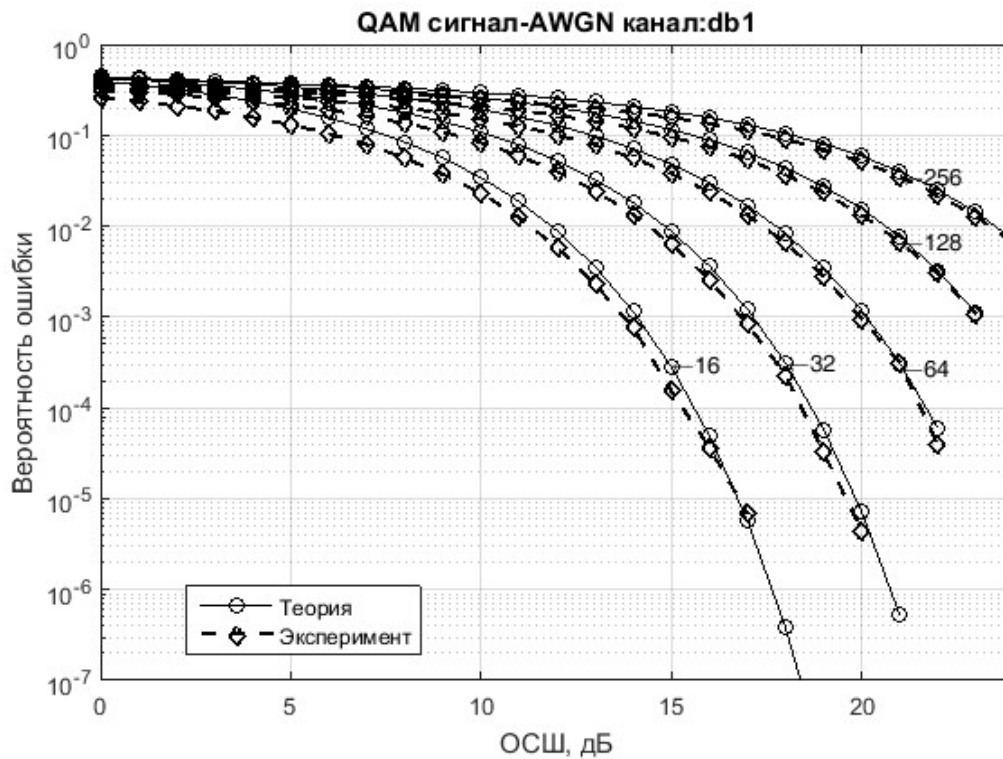


Рис. 4. Вероятность ошибки при приеме сигналов OWDM с QAM

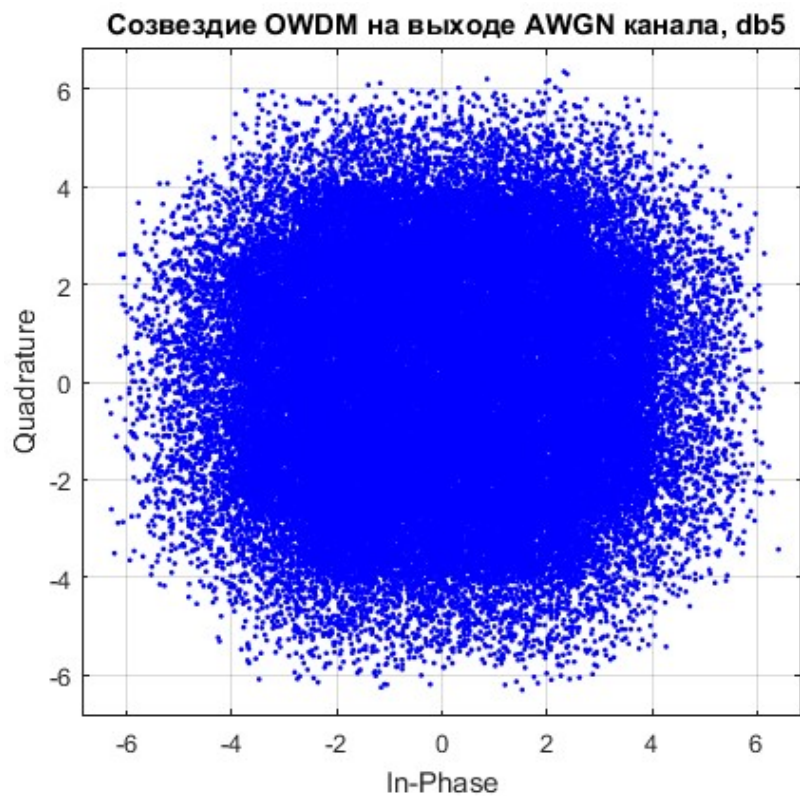


Рис. 5. Созвездие OWDM на входе демодулятора OWDM

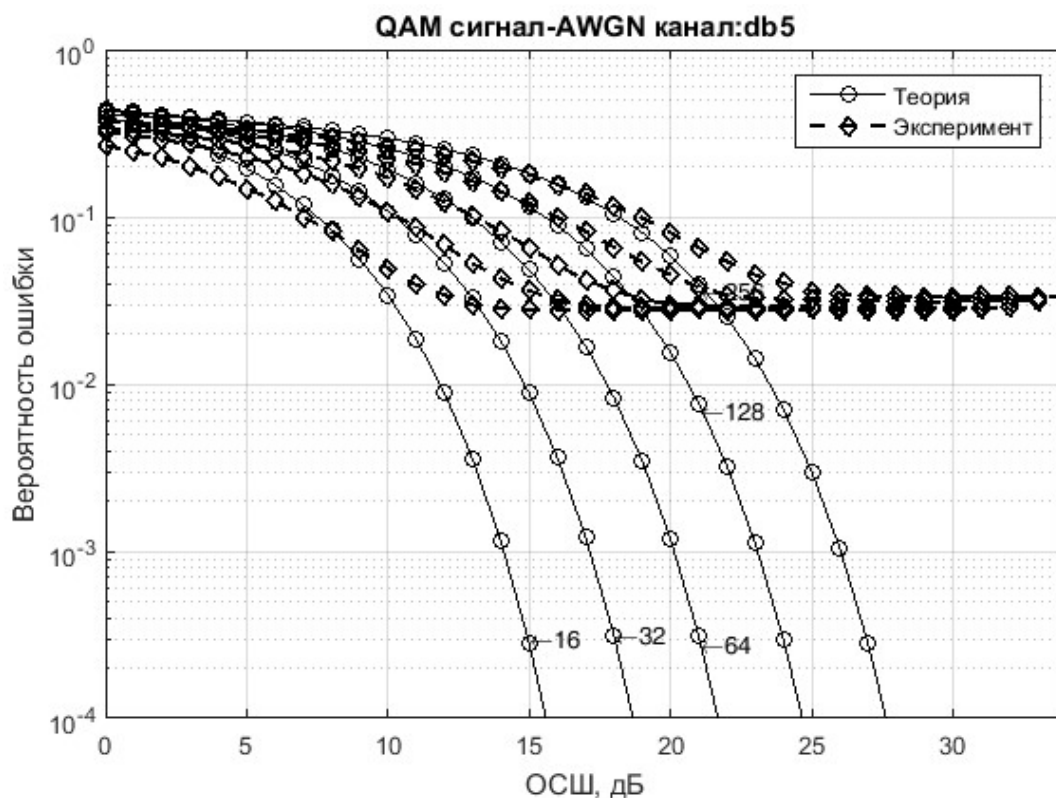


Рис. 6. Вероятность ошибки при приеме сигналов OWDM с QAM

Из рисунка видно, что графики вероятности ошибки, рассчитанные по формуле (1), отличаются от графиков, полученных в процессе моделирования. Вероятность ошибки при моделировании фиксируется на уровне вероятности $3 \cdot 10^{-2}$. Это обусловлено тем, что уже в модуляторе сигнала OWDM значения его фазы и амплитуды не попадают в область, где их дисперсия правильно влияет на работу демодулятора сигнала QAM даже при увеличении отношения сигнал/шум.

Таким образом, результаты моделирования показывают, что для формирования и обработки сигнала OWDM можно использовать только вейвлет-функции типа *db1* (*haar*), *bior1.1*, 1.3, 1.5 и *rbio1.1*, 1.3, 1.5 и его интерполяцию методом преобразования Фурье.

2.2. Помехоустойчивость OWDM сигналов в каналах с Райсовскими и Рэлеевскими замираниями

Теперь проанализируем результаты имитационного моделирования процессов формирования и обработки OWDM сигналов, в каналах Райса и Релея, с QAM модуляцией на каждой вейвлет-поднесущей.

В табл. 2 представлены параметры канала Райса (Rician) и их количественные значения, которые использованы при моделировании процесса обмена информацией в нем. Из таблицы видно, что в канале сигнал распространяется трем путями. В точке приема регулярная составляющая сигнала превышает случайную составляющую в 3 раза (KFactor).

На рис. 7 представлен график созвездия сигнала OWDM на входе демодулятора OWDM при использовании для его обработки вейвлет-функции *db1* и интерполяции его методом преобразования Фурье на передающей стороне. Из рисунка видно, что при интерполяции сигнала OWDM методом преобразования Фурье изменение его фазы и

амплитуды на входе демодулятора OWDM происходит непрерывно. Однако их значения попадают в области, в которых значения фазы и амплитуды совпадают со значениями, полученными на выходе модулятора OWDM, а следовательно на входе демодулятора QAM.

Таблица 2 – Параметры канала Райса

ChannelType	'Rician'
InputSamplePeriod	6.451612903225806e-04
DopplerSpectrum	[1x1 doppler.jakes]
MaxDopplerShift	0
PathDelays	[0 1.290322580645161e-03 2.580645161290323e-03]
AvgPathGaindB]	[-3 -15 -21]
KFactor	3
DirectPathDopplerShift	0
DirectPathInitPhase	0
NormalizePathGains	1
StorePathGains	0
PathGains	[1x3 double]
ChannelFilterDelay	0
ResetBeforeFiltering	1
NumSamplesProcessed	1680000

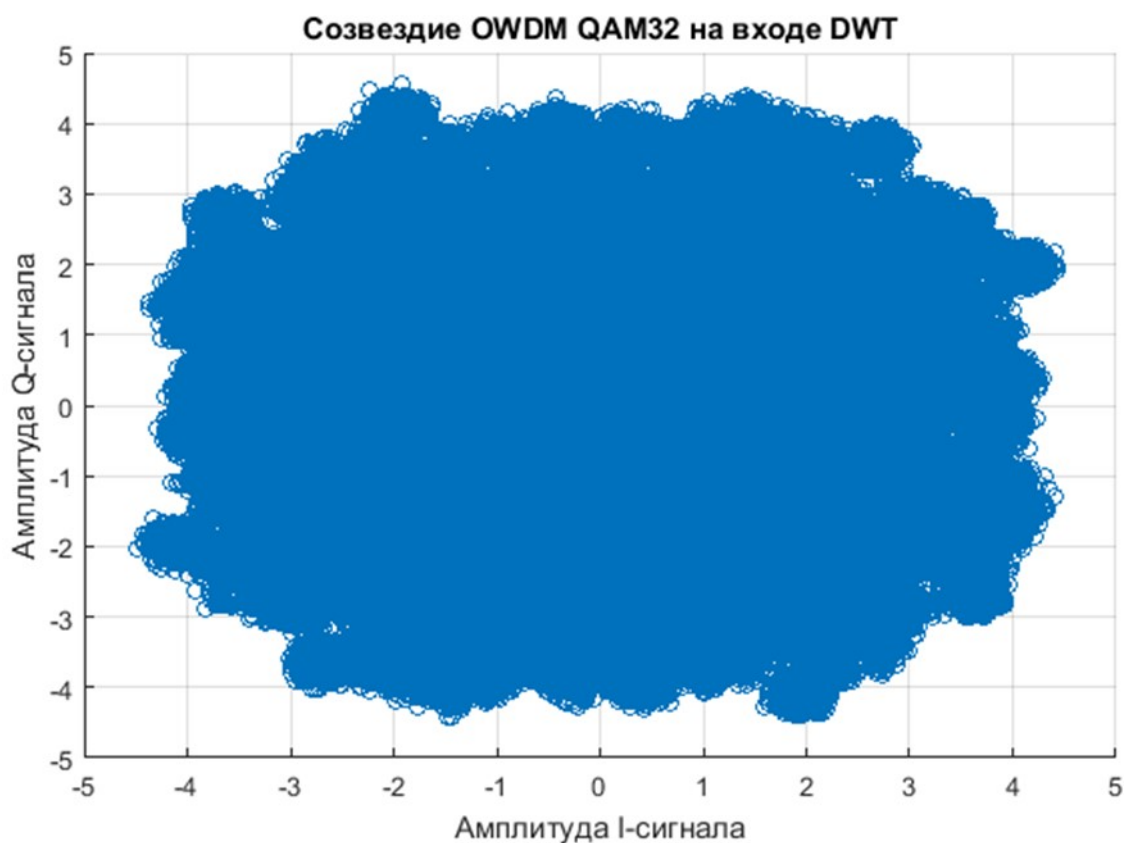


Рис. 7. Созвездие OWDM с QAM на входе демодулятора OWDM (канал Rician)

На рис. 8 представлены графики, рассчитанные по формуле (2) (теория) и полученные при моделировании (эксперимент), зависимости вероятностей ошибки при приеме сигналов QAM-8, 16, 32 от отношения сигнал/шум (ОСШ $\rightarrow E_b/N_0$) на входе демодулятора QAM.

Из рисунка видно, что графики вероятности ошибки, рассчитанные по формуле (2) и полученные при моделировании процесса формирования и обработки сигнала OWDM, не совпадают. Это вызвано тем, что обработка сигнала OWDM в демодуляторе происходит как по масштабу вейвлет-функции (ширине полосы пропускания фильтра) так по длительности времени его анализа, то есть происходит разнесение приема сигнала, как по частоте, так и по времени.

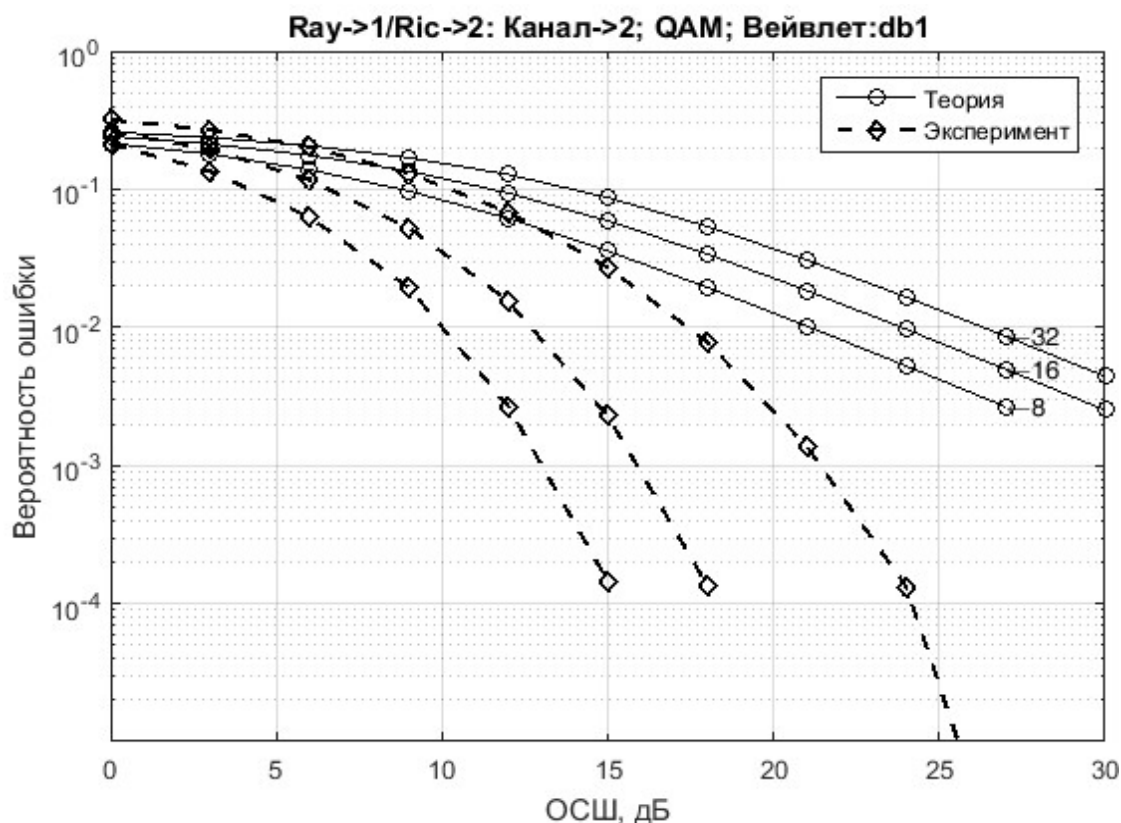


Рис. 8. Вероятность ошибки при приеме сигналов OWDM с QAM (канал Rician)

Вероятности ошибки, при использовании сигналов OWDM в канале с Райсовскими замираниями с параметрами канала заданными в табл. 2, полученные в результате моделирования, меньше чем теоретическая, рассчитанная по формуле (2).

В табл. 3 представлены параметры канала Рэля (Rayleigh) и их количественные значения, которые использованы при моделировании процесса обмена информацией в нем.

Из таблицы видно, что в этом канале, также как и в Райсовском канале, сигнал распространяется тремя путями. В точке приема результирующая составляющая сигнала является случайной величиной, поскольку лучи в точке приема складываются со случайными фазой и амплитудой.

На рис. 9 представлен график созвездия сигнала OWDM на входе демодулятора OWDM при использовании для его обработки вейвлет-функции *db1* и интерполяции его методом преобразования Фурье на передающей стороне.

Из рисунка видно, что при интерполяции сигнала OWDM методом преобразования Фурье изменение его фазы и амплитуды на входе демодулятора OWDM происходит также непрерывно. Однако их значения попадают в области, в которых значения их совпадают со значениями, полученными на выходе модулятора OWDM.

Таблица 3 – Параметры канала Рэля

ChannelType	'Rayleigh'
InputSamplePeriod	6.451612903225806e-04
DopplerSpectrum	[1x1 doppler.jakes]
MaxDopplerShift	0
PathDelays	[0 1.290322580645161e-03 2.580645161290323e-03]
AvgPathGaindB	[-3 -15 -21]
NormalizePathGains	1
StoreHistory	0
StorePathGains	0
PathGains	[1x3 double]
ChannelFilterDelay	0
ResetBeforeFiltering	1
NumSamplesProcessed	1680000

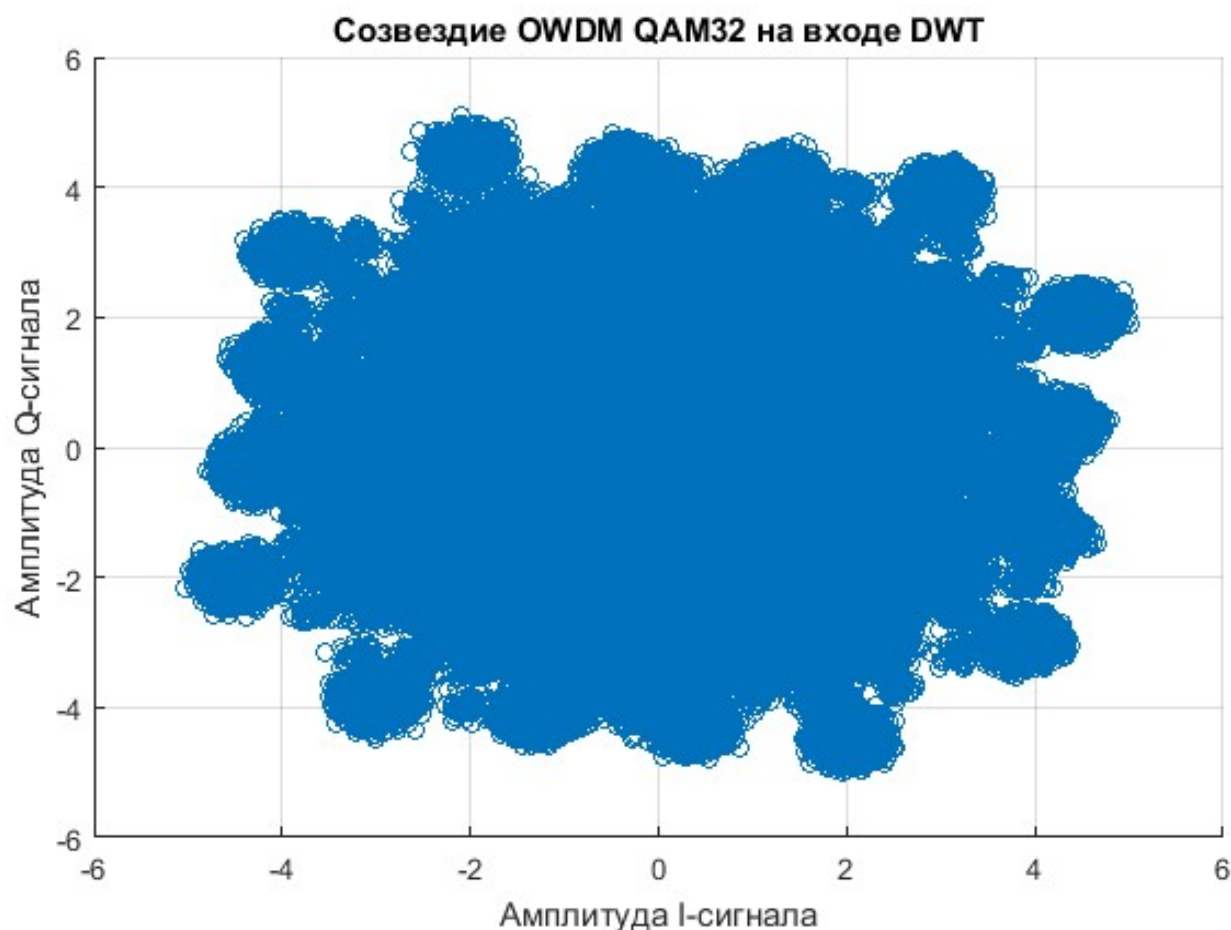


Рис. 9. Созвездие OWDM с QAM на входе демодулятора OWDM (канал Rayleigh)

На рис. 10 представлены графики, рассчитанные по формуле (2) и полученные при моделировании зависимости вероятностей ошибки при приеме сигналов QAM-8, 16, 32 от отношения сигнал-шум (ОСШ $\rightarrow E_b/N_0$) на входе демодулятора QAM.

Из рисунка видно, что графики вероятности ошибки, рассчитанные по формуле (2) и полученные при моделировании процесса формирования и обработки сигнала OWDM, не совпадают. Это вызвано тем, что обработка сигнала OWDM в демодуляторе происходит как по масштабу вейвлет-функции (ширине полосы пропускания фильтра) так

по времени его анализа, то есть происходит разнесение приема сигнала, как по частоте, так и по времени.

Вероятности ошибки, при использовании сигналов OWDM в канале с Райсовскими замираниями с параметрами канала, заданными в табл. 3, полученные в результате моделирования, меньше для QAM-8, 16 чем теоретические, рассчитанные по формуле (2). Однако для сигнала OWDM с QAM-32, на каждой вейвлет-поднесущей, вероятность ошибки, полученная в результате моделирования, выше чем, рассчитанная по формуле (2). Это обусловлено тем, что при увеличении размера сигнального созвездия уменьшается разность между значениями фазы и амплитуды в OWDM сигнале и при сложении в точке приема трех лучей увеличивается их неопределенность для демодулятора QAM-32.

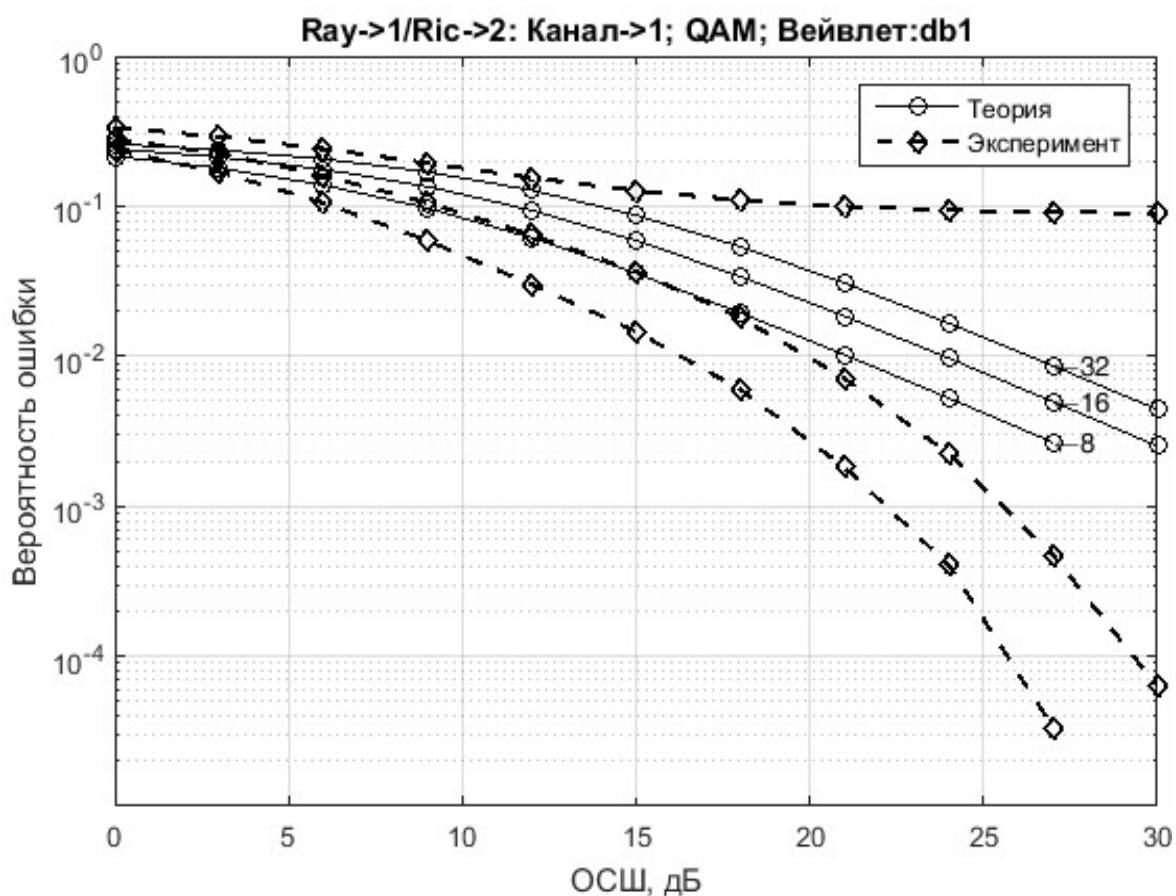


Рис. 10. Вероятность ошибки при приеме сигналов OWDM с QAM (канал Rayleigh)

Выводы

1. Линейная интерполяция сформированного OWDM сигнала приводит к большой неопределенности его фазы и амплитуды при взаимодействии с широкополосными шумами, а следовательно к расхождению теоретической и экспериментальной его помехоустойчивости. Такая интерполяция не может быть использована в разрабатываемом оборудовании.

2. Интерполяция, сформированного OWDM сигнала с использованием быстрого преобразования Фурье, обеспечивает точное совпадение теоретической и экспериментальной его помехоустойчивости. Сформированные таким образом OWDM сигналы могут быть реализованы в разрабатываемом оборудовании.

3. Помехоустойчивость сигналов OWDM с QAM сигналами на вейвлет-поднесущих в Райсовском и Рэлеевском каналах с заданными их параметрами моделирования, определяется не только отношением сигнал-шум в точке приема и размерностью созвездия сигнала, но и многолучевостью, которая в них присутствует. Это приводит к замираниям сигнала и увеличению вероятности ошибки при их обработке.

4. Для формирования и обработки OWDM сигналов могут быть использованы только вейвлет-функции типа $db1$ (*haar*), $bior1.1$, 1.3, 1.5 и $rbio1.1$, 1.3, 1.5. Все другие вейвлет-функции имеют большую неопределенность фазы и амплитуды как при формировании, а следовательно и при обработке OWDM сигналов.

Литература

1. Щукин А.Н., Солозобов С.А. Формирование спектрально-эффективного OFDM сигнала в базе дискретных вейвлет-функций // Техника средств связи. 2022. № 3. С. 80-89. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-80-89.

2. Кулешов И.А., Щукин А.Н., Солозобов С.А. Устройство формирования сигнала OFDM // Техника средств связи. 2022. № 4. С. 2-7. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-2-7.

3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.

References

1. Shchukin A. N., Solozobov S. A. Formation of a spectral-efficient OFDM signal in the basis of discrete wavelet functions. Means of Communication Equipment. 2022. No. 3 (159). Pp. 80-89. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-80-89 (in Russian).

2. Kuleshov I. A., Shchukin A. N., Solozobov S. A. OFDM Signal Generation Device. Means of Communication Equipment. 2022. No. 3 (160). Pp. 2-7. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-2-7. (in Russian).

3. Sklar B. Digital communication. Theoretical foundations and practical application. Moscow, Publishing House "William", 2003, 1104 p.

Статья поступила 15 мая 2023 г.

Информация об авторах

Винокур Михаил Викторович – Генеральный директор ПАО «Интелтех». Область научных интересов: системы связи, навигации и управления специального назначения. Тел.: +7 (812)295-50-69. E-mail: VinokurMV@inteltech.ru.

Кулешов Игорь Александрович – Заместитель генерального директора ПАО «Интелтех» по научной работе. Доктор технических наук, доцент. Область научных интересов: системы связи, навигации и управления специального назначения. Тел.: +7 (812)542-90-54. E-mail: KuleshovIA@inteltech.ru.

Солозобов Сергей Анатольевич – Начальник научно-исследовательского отделения ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук, доцент. Область научных интересов: системы радиосвязи. Тел.: +7 (812) 295-40-54. E-mail: solozobov@inteltech.ru.

Щукин Анатолий Николаевич – Главный специалист ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук. Область научных интересов: системы радиосвязи. Тел.: +7 (812)448-95-94. E-mail: ShchukinAN@inteltech.ru.

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская д.8. Тел.: +7(812) 542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Noise resistance of OWDM signals in radio channels

M.V. Vinokur, I.A. Kuleshov, S.A. Solozobov, A.N. Schukin

Annotation. *The purpose of the article is to demonstrate changes in the noise immunity of multiplexing signals formed on the basis of the wavelet transform in channels with white Gaussian noise and in channels with Rice and Rayleigh fading when using quadratic amplitude modulation on wavelet subcarriers. **Methods:** to generate and process multiplexing signals with orthogonal wavelet separation, the Dobshaw wavelet functions db1 and db5 were used in the simulation. In this case, db1 corresponds to the Haar wavelet function. **Novelty:** the time characteristics of the speed of modulators with inverse discrete wavelet transform are given. Constellations of signals at the input of a multiplexing system demodulator with orthogonal wavelet separation for various radio wave propagation channels and error probabilities in them obtained as a result of modeling the processes of their formation and processing are given. Noise immunity graphs of multiplexing signals with orthogonal wavelet separation with linear interpolation of the generated signal and the method using the Fourier transform are presented. The graphs characterizing the noise immunity of such signals present the results of the theoretical calculation of the error probability using an analytical expression for the signals modulated by the quadratic amplitude method and obtained by modeling the processes of their formation and processing. As a modulator, when generating multiplexing signals with orthogonal wavelet separation, the modulator presented in [2] was modeled. **The results are presented:** graphs of constellations and noise immunity obtained as a result of simulation modeling of the processes of signal formation and processing by the quadratic amplitude modulation method. The analysis of the obtained results is carried out. **Practical significance:** the results of the work can be implemented when evaluating the effectiveness of radio communication complexes at the stage of their development.*

Keywords: error probability, quadratic amplitude modulation, multiplexing with orthogonal wavelet separation, signal-to-noise ratio, noise immunity.

Information about Authors

Vinokur Mikhail Viktorovich – General Director of PJSC "Inteltech". Research interests: communication, navigation and control systems for special purposes. +7 (812)295-50-69. E-mail: VinokurMV@inteltech.ru.

Kuleshov Igor Aleksandrovich – Deputy General Director of PJSC "Inteltech" for scientific work. Doctor of Technical Sciences, Associate Professor. Research interests: communication, navigation and control systems for special purposes. Tel.: +7 (812)542-90-54. E-mail: KuleshovIA@inteltech.ru.

Solozobov Sergey Anatolyevich – Head of the Research Department of PJSC "Inteltech". Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Research interests: radio communication systems. Tel.: +7 (812) 295-40-54. E-mail: solozobob@inteltech.ru.

Shchukin Anatoly Nikolaevich – Chief Specialist of PJSC "Inteltech". Candidate of Technical Sciences. Research interests: radio communication systems. Tel.: +7 (812)448-95-94. E-mail: ShchukinAN@inteltech.ru.

Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya str.8. Tel.: +7(812) 542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Для цитирования: Винокур М. В., Кулешов И. А., Солозобов С. А., Щукин А. Н. Помехоустойчивость сигналов OWDM в каналах радиосвязи // Техника средств связи. 2023. № 2 (162). С. 14-26. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-2-14-26.

For citation: Vinokur M. V., Kurnosov V. I., Solozobov S. A., Schukin A. N. Noise resistance of OWDM signals in radio channels // Means of Communication Equipment. 2023. No. 2 (162). Pp. 14-26. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-2-14-26. (in Russian).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 618:623.624:621.396.946

DOI:10.24412/2782-2141-2023-2-27-34

**Последовательность синтеза современных коммутационных средств
для специальных сетей связи**

Кулешов И. А., Спивак А. В., Аксенов С. С.

Аннотация. В последнее время перед системой связи поставлен ряд нетривиальных задач. Одна из основных – обеспечение синтеза коммутационных средств аналогового и цифрового этапов развития. Кроме этого коммутационные средства должны обеспечивать работу по всем существующим и перспективным каналам связи (радио, радиорелейным, космическим, проводным, волоконно-оптическим, гидроакустическим, радиофотонным, квантовым и др.). **Цель статьи:** проведение анализа существующих способов синтеза коммутационных средств аналогового и цифрового этапов развития, а также формирование предложений по построению гибридного программного коммутатора. **Методы:** научно-методический аппарат теории синтеза сложных систем. **Полученные результаты:** на основе анализа современных сетевых технологий разработана функциональная структура гибридного программного коммутатора. В качестве показателей качества функционирования программного коммутатора в системе маршрутизации и коммутации выбраны вероятность своевременной доставки сообщения, частными показателями определены производительность, скорость и достоверность передачи сообщения, которые в совокупности достаточно полно характеризуют данный процесс. При этом выбранные показатели графически представлены в пространстве показателей качества функционирования. **Практическая значимость:** определена последовательность решения задачи синтеза гибридного программного коммутатора, включающая в себя: формирование и анализ исходных данных; разработку конкретной концептуальной модели гибридного программного коммутатора; разработку его функционально-модульной структуры; разработку комплекса обобщенных алгоритмов и математических моделей процессов функционирования; вычисление параметров элементов математической модели с учетом характеристик надежности, внешних воздействия, параметров процедур технической эксплуатации, характеристик канальных соединений; определение множества вариантов построения гибридного программного коммутатора по методу ветвей и границ; анализ выполнения требований системы управления к показателям качества функционирования гибридного программного коммутатора и выбор его параметров построения по результатам математических вычислений; выбор рациональной структуры гибридного программного коммутатора по методу Парето на основании критерия эффективности, состоящий в определении варианта, которому соответствует минимальное значение увеличения удельной себестоимости относительно значения, соответствующего идеальной рабочей точке.

Ключевые слова: гибридный программный коммутатор, каналы связи, коммутационные средства, показатели качества функционирования, система маршрутизации и коммутации.

Введение

Использование в современных системах связи различных видов коммутационных средств и низкий уровень автоматизации процессов маршрутизации и коммутации определяет низкие показатели качества функционирования этих систем связи. В настоящее время возросли требования по объемам передаваемой информации и по качеству предоставления современного сервиса услуг. Определяющая роль при этом в обеспечении высокой устойчивости сетей связи специального назначения принадлежит системам маршрутизации и коммутации.

Для выполнения новых требований современные системы маршрутизации и коммутации должны создаваться на основе перспективных информационно-телекоммуникационные технологий. Предлагается для этого современные системы маршрутизации и коммутации строить на основе многофункциональных аппаратно-программных модулей.

Построение сети на основе многофункциональных аппаратно-программных модулей позволит отдельно рассмотреть слой пользовательских уровней и транспортной сети, которые отвечают за коммутацию и транспортировку генерируемого трафика, а также отделить средства физического и логического переноса информации от средств маршрутизации и коммутации.

Функционально-модульная структура гибридного программного коммутатора

Устройством, обеспечивающим функции маршрутизации, коммутации и адаптации сети должен стать гибридный программный коммутатор (ГПК). На основе анализа современных сетевых технологий разработана функциональная структура гибридного программного коммутатора (рис. 1).

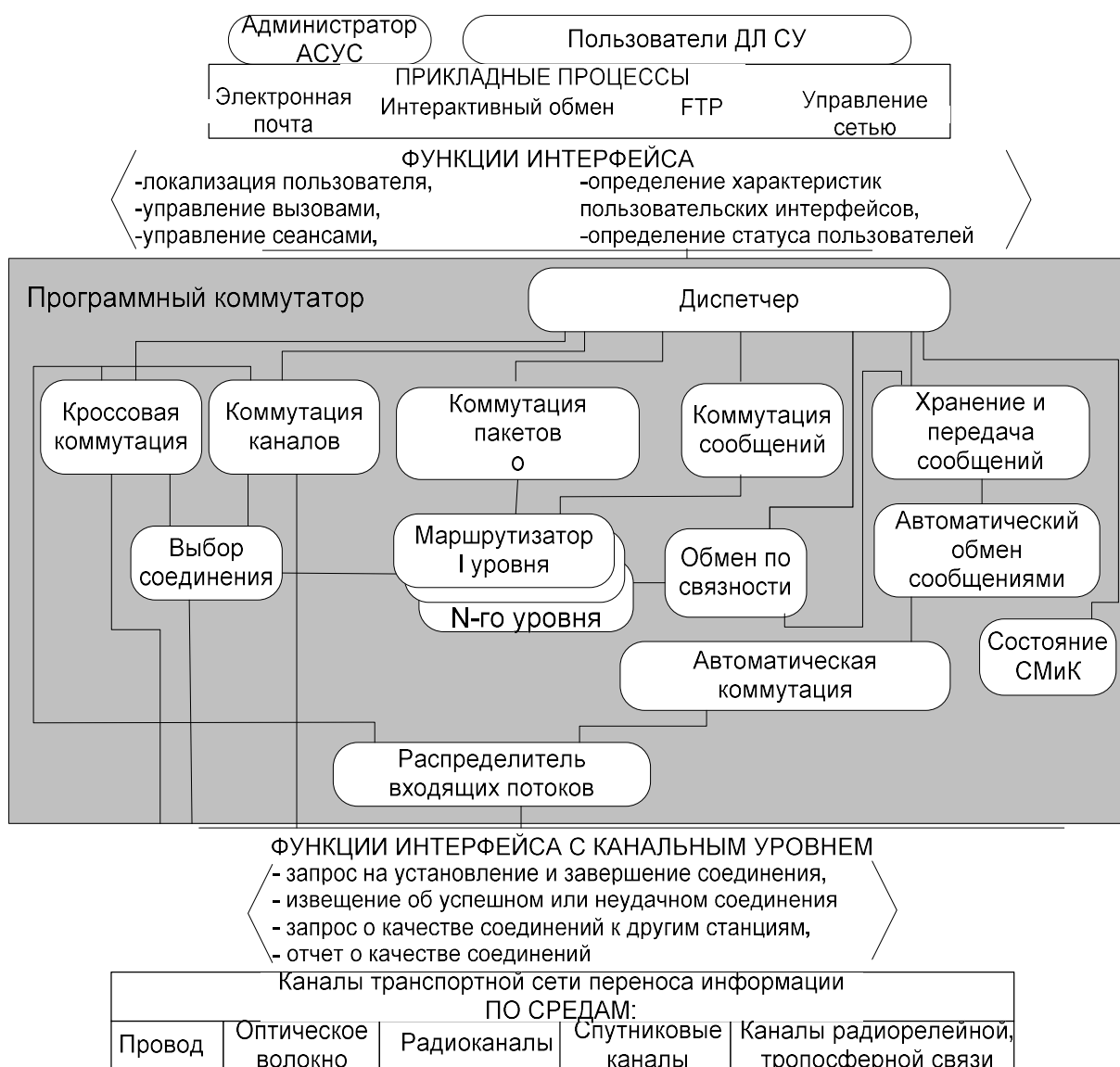


Рис. 1. Функционально-модульная структура ГПК

В состав программного коммутатора предлагается включить функциональные модули: кроссовой коммутации, коммутации каналов, установления виртуального соединения, диспетчера (модуля промежуточного уровня), многоуровневого маршрутизатора, выбора соединения, обмена по связности, состояния системы маршрутизации и коммутации, хранения и передачи сообщения, автоматического обмена сообщениями, автоматической коммутации, распределителей входящего и исходящего трафика.

Программный коммутатор является многосредным, так как в нем реализуется интерфейс с контроллерами канальных соединений, организуемых на различных средах переноса информации.

Диспетчер управляет работой программного коммутатора, направляя поступающие требования на установление соединений в соответствующие модули коммутации. Диспетчер регулирует эти процессы, обеспечивая оптимальное распределение, защищенность и управляемость сетевых ресурсов.

Процедуры маршрутизации и коммутации, используемые в ГПК, составляют полное множество современных процессов коммутации. Это кроссовая коммутация, коммутация каналов, сообщений и пакетов (установления виртуальных соединений и дейтаграммной передачи). Каждый из методов коммутации и маршрутизации имеет свои достоинства и недостатки, а конкретный тип может быть выбран на основе целесообразности применения в перспективных системах связи.

Алгоритмическое обеспечение ГПК представляет собой взаимоувязанный комплекс алгоритмов функционирования входящих в него функциональных модулей, соответствующих спецификациям и стандартам. Алгоритмы взаимодействия функциональных модулей обеспечивают согласованность их функционирования и возможность управления ими модулем «Диспетчер».

Обобщенный алгоритм модуля Диспетчер является специфичными для каждого ГПК и определяется требованиями системы связи. В основе алгоритма лежит системный алгоритм построения системы маршрутизации и коммутации системы связи.

Система алгоритмов гибридного программного коммутатора и их параметры являются основой математической модели при исследовании влияния параметров процедур маршрутизации и коммутации на качественные показатели ГПК и системы маршрутизации и коммутации (СМиК) для различных вариантов построения гибридного программного коммутатора.

Показатель эффективности функционирования программного коммутатора

Показателями качества функционирования проектируемого программного коммутатора в системе маршрутизации и коммутации являются вероятность своевременной доставки сообщения Q , отдельные показатели – производительность Π , скорость V и достоверность D передачи сообщения, которые в совокупности полно характеризуют данный процесс. Эти показатели позволяют сформировать метрическое пространство Φ и ввести сравнительную оценку элементов сетей, отличающихся используемыми средами передачи, технологией работы, размерами, конкретными техническими решениями [1, 2].

В пространстве Φ введена функция $W = \frac{\Pi}{V} D$, которая является неотрицательной, счетно-аддитивной, определяет объем сети и представляет собой меру в пространстве показателей качества функционирования сети (рис. 2).

Показатель эффективности определяется через объем сети и представляет собой удельную себестоимость единицы объема сети $Y = C/W$, где C – суммарные затраты на

создание и эксплуатацию сети связи. Критерий эффективности позволяет производить сравнительную оценку вариантов построения ГПК.

Математические модели исследования гибридных программных коммутаторов должны обеспечивать оценку воздействия различных факторов на его построение и на показатели, характеризующие качество функционирования отдельных ГПК и СМиК в целом.

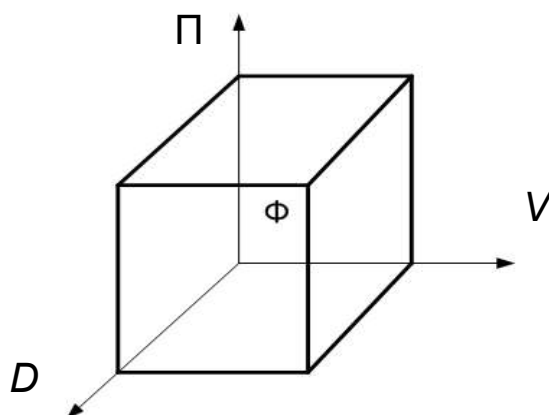


Рис. 2. Пространство Φ показателей качества функционирования

Для исследования предлагается использовать аналитический аппарат систем массового обслуживания (СМО), широко используемый в исследовании сетей связи, и позволяющий исследовать различные виды сетей связи – с кроссовой коммутацией, коммутацией каналов, коммутацией пакетов, коммутацией сообщений при различных размерах и иерархичности структуры сети. Возможно исследование влияния на показатели качества функционирования различных дисциплин обслуживания требований, механизмов управления потоками, организации системы управления сетью и ее технического обеспечения, учет характеристик надежности, приоритетности обслуживания требований и других факторов [3, 4].

Значения показателей качества функционирования определяются параметрами входящего трафика, надежностными характеристиками оборудования ГПК, составом и характеристиками канальных соединений на разных средах передачи, внешними воздействиями, организацией системы управления, систем технической эксплуатации, технического обеспечения, безопасности, а также составом и техническими параметрами функциональных модулей ГПК и стратегиями управления, реализуемыми в модуле Диспетчер.

СМиК является сложной системой, ее составляют подмножества гибридного программного коммутатора в узле связи ($УС_i$), каждый из ГПК должен соответствовать целому комплексу конкретных требований к нему от системы управления (СУ), в части множества M типов передаваемых сообщений, требований к их передаче и предоставляемому при этом сервису, характеристик общего трафика, множества поддерживаемых видов взаимодействия [5].

Вариант построения ГПК определяется не только требованиями, но и архитектурой ГПК: режимами обмена, составом функциональных модулей, используемыми спецификациями для их реализации, значениями параметров алгоритмов функционирования (тайм-аутов, числа повторных процедур и др.), а также составом канальных соединений и их нагрузочными характеристиками.

Функциональный модуль Диспетчер осуществляет управление функционированием ГПК для согласованной работы всех его функциональных модулей и оперативной реконфигурации под изменяющиеся обстоятельства в соответствии с множеством G стратегии СУ. Построение ГПК для конкретного УС должно учитывать и специальные требования СУ по обеспечению безопасности.

Очевидно, что для любого ГПК N $УС_N \subset УС_Я$ существует множество W_N вариантов построения.

Задача синтеза ГПК состоит в выборе рационального варианта $W_{РАЦ}$ по критерию эффективности и является дискретной задачей многокритериальной оптимизации. Для ее решения предлагается применить метод оптимизации Парето.

Из множества W_N формируется ряд рассматриваемых вариантов, находится подмножество допустимых вариантов $W_{ДОП}$ построения ГПК $_N$, для которых обеспечиваются требования СУ в данном УС $_N$. Рациональный вариант $W_{РАЦ}$ определяется из множества $W_{ДОП}$. Для каждого из множества вариантов построения ГПК, получаемого методом ветвей и границ, вычисляются значения показателей качества функционирования с использованием аналитического аппарата СМО. По результатам вычислений определяется множество альтернативных решений, и исключаются все заведомо худшие решения. В результате получается задача выбора решения в условиях определенности. Варианты построения гибридного программного коммутатора, при которых обеспечиваются требования к показателям качества функционирования, составят множество допустимых решений [6].

Для выбора оптимального решения использован метод идеальной точки. По показателю эффективности производится выбор рационального варианта построения гибридного программного коммутатора. При этом, на основании рассчитанных показателей качества функционирования сети: производительности Π , скорости V , достоверности D передачи информации и вероятности своевременной доставки, рассчитывается и сравнивается величина удельной себестоимости объема сети $W = PD$, определяемого через произведение отдельных показателей: $Y = C / W$ или $Y = C / PD$, где $P = \Pi / T$ – показатель мощности.

Наибольшие значения объема сети и, следовательно, наименьшая удельная себестоимость обеспечиваются в оптимальной рабочей точке, в которых сбалансированы производительность и задержка.

Рассчитаем координаты оптимальной рабочей точки $\vec{y}^{(0)}$. Эту точку для задачи максимизации назовем идеальной. Ясно, что такая точка (точка $\vec{y}^{(0)}$) лежит вне множества Парето и для нее справедливо $\vec{y}^{(0)} P \vec{y}, \forall \vec{y} \in P_\Phi$, где P – это отношение строгого предпочтения, а P_Φ – множество Парето.

Так как пространство показателей качества функционирования является метрическим, то увеличение удельной себестоимости из-за отклонения от оптимальной рабочей точки может быть определено выражением:

$$\Delta Y = \frac{C}{W_R} - \frac{C}{W_{\text{МАКС}}} = C \frac{W_{\text{МАКС}} - W_R}{W_R W_{\text{МАКС}}}. \quad (1)$$

Поэтому производится сравнение удельной себестоимости $\Delta Y_A = Y_A - Y^*$ и $\Delta Y_B = Y_B - Y^*$ для каждого из допустимых вариантов построения ГПК. В качестве рационального варианта построения гибридного программного коммутатора выбирается

вариант, для которого увеличение удельной себестоимости относительно идеальной точки минимально [7, 8].

Оценка степени возрастания, то есть снижения эффективности использования ресурсов сети, может быть применена при принятии решений по проектированию сети связи и управлению в процессе использования по назначению.

Заключение

Таким образом, решение задачи синтеза гибридного программного коммутатора включает в себя:

- формирование и анализ исходных данных;
- разработку конкретной концептуальной модели ГПК в рамках СМиК, в соответствии с требованиями СУ, факторами, которые должны быть учтены, и возможностями ресурсов;
- разработку функционально-модульной структуры гибридного программного коммутатора на базе современных сетевых технологий в соответствии с предназначением узла связи;
- разработку комплекса обобщенных алгоритмов и математических моделей процессов функционирования гибридного программного коммутатора в отдельных подсетях, по соответствующим спецификациям международных рекомендаций и отечественных ГОСТов;
- вычисление параметров элементов математической модели с учетом характеристик надежности, внешних воздействий, параметров процедур технической эксплуатации, характеристик канальных соединений;
- определение множества вариантов построения гибридного программного коммутатора по методу ветвей и границ;
- анализ выполнения требований системы управления к показателям качества функционирования ГПК узла связи и выбор его параметров построения по результатам математических вычислений (состава функциональных модулей, правил их взаимодействия);
- выбор рациональной структуры гибридного программного коммутатора по методу Парето на основании критерия эффективности, состоящий в определении варианта, которому соответствует минимальное значение увеличения удельной себестоимости относительно значения, соответствующего идеальной рабочей точке.

Литература

1. Kleinrock L. Communication nets: Stochastic message flow and delay, New York, McGraw-Hill, 1964. 288 с.
2. Давыдов Г. Б. Рогинский В. Н., Толчан А. Я. Сети электросвязи. – М.: Связь, 1977. 360 с.
3. Кристофидес Н. Теория графов. – М.: Мир, 1978. – 432 с.
4. Лазарев В. Г., Лазарев Ю. В. Динамическое управление потоками информации в сетях связи. – М.: Радио и связь, 1983. 216 с.
5. Суздалев А. В. Сети передача информации АСУ. – М.: Радио и связь, 1983. – 152 с.
6. Кулешов И. А. Функциональная структура системы маршрутизации и коммутации сети связи // Научно-технический сборник № 13. – СПб.: ВАС, 2007.
7. Кулешов И. А. Принципы построения современных мультисервисных сетей // Труды ВАС. 2008. № 71. – СПб.: ВАС, 2008.
8. Инфокоммуникационные сети: энциклопедия. Книга 4: Гетерогенные сети связи: принципы построения, методы синтеза, эффективность, цена, качество / П.А Будко., И.А Кулешов, В.И. Курносов, В.И. Мирошников; Под ред. профессора В.И. Мирошникова. – Москва.: Наука, 2020 – 683 с.

References

1. Kleinrock L. Communication nets: Stochastic message flow and delay, New York, McGraw-Hill, 1964. 288 p.
2. Davydov G. B., Roginsky V. N., Tolchan A. Ya. *Seti elektrosvyazi* [Telecommunication networks]. Moscow, Svyaz Publ., 1977. 360 p. (in Russian).
3. Kristofides N. *Teoriya grafov* [Graph theory]. Moscow, Mir Publ., 1978. 432 p. (in Russian).
4. Lazarev V. G., Lazarev Yu. V. *Dinamicheskoe upravlenie potokami informacii v setyah svyazi* [Dynamic control of information flows in communication networks]. Moscow, Radio and Communications Publ., 1983. 216 p. (in Russian).
5. Suzdalev A. V. *Seti peredacha informacii ASU* [Networks of information transmission of automated control systems]. Moscow, Radio and Communications Publ., 1983. 152 p. (in Russian).
6. Kuleshov I. A. *Funkcional'naya struktura sistemy marshrutizacii i kommutacii seti svyazi* [Functional structure of the routing and switching system of the communication network]. St. Petersburg, Scientific and technical collection Military Academy of Communications 2007. No.13 (in Russian).
7. Kuleshov I. A. *Principy postroeniya sovremennyh mul'tiservisnyh setej* [Principles of building modern multiservice networks]. St. Petersburg, The works of Military Academy of Communications, 2008, No. 71 (in Russian).
8. Budko P. A., Kuleshov I. A., Kurnosov V. I., Miroshnikov V. I. *Infokommunikacionnye seti: enciklopediya. Kniga 4: Geterogennye seti svyazi: principy postroeniya, metody sinteza, effektivnost', cena, kachestvo* [Heterogeneous communication networks: principles of construction, synthesis methods, efficiency, price, quality]. Moscow, Nauka Publ., 2020, 683 p. (in Russian).

Статья поступила 17 мая 2023 г.

Информация об авторах

Кулешов Игорь Александрович – Заместитель генерального директора ПАО «Интелтех» по научной работе. Доктор технических наук, доцент. Область научных интересов: системы связи, навигации и управления специального назначения.

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская д. 8. Тел.: +7(812) 542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Спивак Андрей Игоревич – Аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича".

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская д. 8. Тел.: +7(812) 542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Аксенов Сергей Сергеевич – Аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича".

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская д. 8. Тел.: +7(812) 542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

The sequence of synthesis of modern switching means for special communication networks

I. A. Kuleshov, A. I. Spivak, S. S. Aksenov

Annotation. Recently, a number of non-trivial tasks have been set before the communication system. One of the main ones is to ensure the synthesis of switching means of analog and digital stages of development. In addition, switching means should ensure operation on all existing and promising communication channels (radio, radio relay, space, wired, fiber-optic, sonar, radiophoton, quantum, etc.). **The purpose** of the article is to analyze the existing methods of synthesis of switching means of

*analog and digital stages of development, as well as the formation of proposals for the construction of a hybrid software switch. **Methods:** scientific and methodological apparatus of the theory of synthesis of complex systems. **The results obtained:** based on the analysis of modern network technologies, the functional structure of a hybrid software switch has been developed. As indicators of the quality of the functioning of the software switch in the routing and switching system, the probability of timely delivery of the message is selected, the performance, speed and reliability of message transmission are determined by particular indicators, which together characterize this process quite fully. At the same time, the selected indicators are graphically represented in the space of indicators of the quality of functioning. **Practical significance:** the sequence of solving the problem of synthesis of a hybrid software switch has been determined, which includes: formation and analysis of initial data; development of a specific conceptual model of a hybrid software switch; development of its functional-modular structure; development of a complex of generalized algorithms and mathematical models of functioning processes; calculation of parameters of elements of a mathematical model taking into account reliability characteristics, external influences, parameters of technical operation procedures, characteristics of channel connections; determination of a variety of options for building a hybrid software switch by the method of branches and boundaries; analysis of the fulfillment of the requirements of the management system for the quality indicators of the hybrid software switch and the choice of its construction parameters based on the results of mathematical calculations; the choice of a rational structure of a hybrid software switch using the Pareto method based on the efficiency criterion, consisting in determining the option that corresponds to the minimum value of the increase in unit cost relative to the value corresponding to the ideal operating point.*

Keywords: hybrid software switchboard, communication channels, switching facilities, performance indicators, routing and switching system.

Information about the authors

Kuleshov Igor Aleksandrovich – Deputy General Director of PJSC "Inteltech" for scientific work. Doctor of Technical Sciences, Associate Professor. Research interests: communication, navigation and control systems for special purposes.

Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya str.8. Tel.: +7(812) 542-90-54.
E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Spivak Andrey Igorevich – Postgraduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State University of Telecommunications named after Prof. M.A. Bonch-Bruevich".

Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya str.8. Tel.: +7(812) 542-90-54.
E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Aksenov Sergey Sergeevich – Postgraduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State University of Telecommunications named after Prof. M.A. Bonch-Bruevich".

Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya str.8. Tel.: +7(812) 542-90-54.
E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Для цитирования: Кулешов И. А., Спивак А. И., Аксенов С. С. Последовательность синтеза современных коммутационных средств для специальных сетей связи // Техника средств связи. 2023. № 2 (162). С. 27-34. DOI:10.24412/2782-2141-2023-2-27-34.

For citation: Kuleshov I. A., Spivak A. I., Aksenov S. S. The sequence of synthesis of modern switching means for special communication networks // Means of Communication Equipment. 2023. No. 2 (162). Pp. 27-34. DOI:10.24412/2782-2141-2023-2-27-34. (in Russian).

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 681.396.24, 512.623.3

DOI:10.24412/2782-2141-2023-2-35-47

Генератор псевдослучайных чисел в станциях сети декаметровой радиосвязи

Иванов Г. Д., Иванов Д. В., Путилин А. Н.

Аннотация: При создании станций сети декаметровой радиосвязи, защищенной от радиоэлектронного подавления, возникает ряд задач, связанных с генерацией случайных чисел. Это задачи обеспечения сетевой синхронизации, синтеза последовательности переключения рабочих частот, маскирования данных и обеспечения имитостойкости сеансов радиосвязи. **Цель статьи:** На основе принципов формирования и приёма блочных шифров предложить алгоритм формирования блоков псевдослучайной последовательности в синхронной сети пакетной радиосвязи, отвечающий этим требованиям. **Полученные результаты:** сформирована рациональная структура генератора, исследуются его свойства, приводятся результаты его тестирования, предлагается алгоритм пассивной сетевой синхронизации. **Новизна:** в приводимых примерах параметры генератора псевдослучайных чисел адаптированы к характеристикам радиосредств и параметрам радиоканалов декаметрового диапазона. **Практическая значимость:** предложенный алгоритм позволяет комплексно решить четыре задачи. Во-первых, реализовать пассивную сетевую синхронизацию. Данное решение позволит существенно уменьшить стоимость аппаратуры передачи данных станции радиосети за счет отказа от использования высокостабильных опорных генераторов. Динамическая подстройка меток сетевого времени будет реализована за счет анализа бит синхронизации в передаваемых станциями сети пакетах данных. Во-вторых, фрагмент получаемой псевдослучайной последовательности предназначен для маскирования служебных бит пакета путем гаммирования блока данных и псевдослучайной последовательности. В-третьих, иной фрагмент получаемой псевдослучайной последовательности используется для вычисления номера следующей рабочей частоты в режиме изменения рабочей частоты по псевдослучайному закону. В-четвертых, сформированная контрольная сумма передаваемого пакета данных, заданной длины, маскированная третьим фрагментом псевдослучайной последовательности обеспечит функцию имитозащиты установленного соединения.

Ключевые слова: генератор псевдослучайных чисел, изменение рабочей частоты по псевдослучайному закону, сетевая синхронизация, сеть декаметровой радиосвязи.

Введение

Для организации работы сети декаметровой радиосвязи с псевдослучайным переключением рабочих частот (ППРЧ) необходимо решить группу связанных друг с другом задач, относящихся к организации подсистемы автоматизации радиосвязи:

- 1) Обеспечение синхронной работы станций сети.
- 2) Обеспечение генерации криптостойкой псевдослучайной последовательности (ПСП) переключения номеров частот при произвольном количестве частот для обеспечения работы радиолиний сети в условиях радиоэлектронного подавления (РЭП), а также для обеспечения надежной работы радиолиний при изменении условий прохождения сигнала на отдельных частотах.
- 3) Обеспечение шифрования (маскирования) служебных данных, необходимых для организации, поддержания и разрыва сеансов радиосвязи.
- 4) Обеспечение имитозащиты станций сети от навязывания ложных сеансов связи.

Для выполнения первой задачи может использоваться синхронизация станций по ГЛОНАСС, что требует введения в состав станций приёмников ГЛОНАСС, аппаратного блока системы единого времени (СЕВ) и приводит к удорожанию стоимости комплекта

оборудования станции. Также возможна реализация собственной процедуры сетевой синхронизации, что также подразумевает наличие блока СЕВ у каждой станции и требует организации специальных сеансов связи с переходом в режим радиомолчания остальных станций сети. Это создает неудобства при эксплуатации сети радиосвязи. Наиболее приемлемым представляется вариант пассивной синхронизации станций сети по рабочим сеансам сторонних абонентов или собственному запросу. Такой вариант требует наличия в формате передаваемых пакетов служебных данных, зависящих от текущего времени. Возможность реализации именно такой сетевой синхронизации будет рассмотрена ниже.

Для выполнения второй задачи необходима реализация шифратора (маскиратора) на вход которого поступают метки времени от блока СЕВ. Это возможно на основе использования ГОСТ 34.12-2018 [1], включающего в себя алгоритм блочного шифрования «Кузнечик» с длиной блока 128 бит и алгоритм шифр «Магма» с длиной блока 64 бита, также описанные в RFC 7801 и RFC 8891, соответственно. Правила криптографического преобразования и формирования имитовставки описаны в ГОСТ 34.13-2015 [2]. Аналогичные возможности предоставляет Международный стандарт ISO/IEC 18033-3:2010 [3]. Следует отметить, что длины указанных блоков являются избыточными для решения данной задачи. Достаточным является блок длиной 7 бит. В подобных случаях указанные ГОСТы рекомендуют дополнять кодируемый блок бит нулями. В настоящей работе предлагается разбиение блока на поля с различным назначением для комплексного решения рассматриваемых задач.

Выполнение третьей задачи также возможно на основе использования указанных стандартов путем гаммирования открытых служебных данных генерируемой ПСП. Однако для рассматриваемой системы передачи информации имеет место использование блоков служебных данных различной длины в различных фазах установления, поддержания и разрыва соединения: от 16 до 80 бит.

Для решения четвертой задачи – формирования имитовставки, возможно использование ГОСТ 34.13-2015, а также ГОСТ 28147-89 [4], являющегося предшественником у выше указанных стандартов, см. также RFC4357 и RFC4490. Рекомендуемая длина имитовставки 64 бита.

Рассматриваемая система передачи данных – сеть декаметровый радиосвязи накладывает на рассматриваемые задачи ряд дополнительных ограничений, позволяющих упростить их решения. Так в работах [5-7] производилось обоснование основных технических решений по построению рассматриваемой сети. В частности, достаточным для защиты от РЭП следует полагать количество переключений рабочих частот в диапазоне 20-40 раз в секунду. Этот параметр определяет период генерации блоков псевдослучайной последовательности.

Другим важным параметром является требуемая точность синхронизации системы единого времени станций сети. При использовании двухканального приёмника достаточная точность синхронизации определяется половиной длины слота передачи на одной частоте. При переключении с указанной скоростью этот параметр должен быть меньше 12,5-25 мс. Стабильность используемого в блоке СЕВ опорного генератора определит необходимую периодичность подстройки сетевой синхронизации для режима радиомолчания в сети.

Комплексное решение описанных задач представляется наиболее целесообразным и рациональным. Их совместная оптимизация должна привести к созданию алгоритма, обладающего дополнительными свойствами, необходимыми для функционирования станций сети декаметровый радиосвязи, но не рассматриваемыми в указанных стандартах.

Для эффективного решения указанных задач единый генератор ПСП должен обеспечивать:

– статистическую устойчивость последовательности – значения генерируемых чисел должны быть равномерно распределены между собой;

- отсутствие цикличности ПСП – цикл её повторения не должен быть обозримым за время эксплуатации изделия;
- криптостойкость ПСП – сторонний наблюдатель не должен иметь возможности на предсказание следующих значений чисел, то есть ПСП должна быть известна только радиостанциям сети;
- возможность пассивной синхронизации – вводимые в эксплуатацию радиостанции, обеспеченные необходимыми ключевыми и радиоданными, должны иметь возможность вычисления текущей фазы переключения генератора ПСП по фрагментам принятых сеансов радиосвязи радиостанций сети, без посылки служебных запросов в радиоканал.

Общий принцип работы генератора псевдослучайной последовательности

Генератор построен из двух блоков, схематично изображенных на рис. 1. Данное устройство называют «фильтрующим генератором».



Рис. 1. Структура генератора псевдослучайной последовательности

Первый блок работает на основе линейного рекуррентного регистра (ЛРР), который мы условно будем называть «линейный генератор». Он построен на возведении в различные степени многочлена в поле Галуа по модулю простого многочлена степени 128. Второй блок направлен на устранение линейной зависимости генерируемых в первом блоке значений. Он работает как некая нелинейная булева функция, принимающая на вход 128 бит и возвращающая 1-32 бит. С его помощью обеспечивается криптостойкость генератора.

Ключ для данного генератора – то есть информация, требуемая для его инициализации, разбита на две части:

- Ключ-1 (открытый ключ): задает параметры линейного генератора: структуру ЛРР и его начальное заполнение.
- Ключ-2 (закрытый ключ): используется для создания набора нелинейных булевых функций для узла усложнения (НУУ).

Оба этих ключа представляют собой произвольные наборы символов (текст, числа и прочее) произвольной длины, либо же произвольные 128-битные числа. Все специальные значения для ЛРР и НУУ формируются автоматически на основе введенных пользователем ключей.

Построение генератора ПСП подразумевает, что Ключ-1 и параметры ЛРР не являются секретной информацией. На этом будет построен алгоритм пассивной синхронизации радиостанций.

Функционирование генератора псевдослучайной последовательности представляется следующим образом. На каждой рабочей частоте данные передаются пакетами, в которых могут присутствовать данные абонента, служебные данные, данные синхронизации и имитовставка.

Данные абонента не требуют шифрования (маскирования). Эта операция выполняется окончательным оборудованием данных (ООД).

К служебным данным относятся адреса станций радиосети, данные управления режимами работы радиолиний (адаптация по скоростям и рабочим частотам), данные управления системы повышения достоверности, проверочные биты помехоустойчивого кодирования, контрольные суммы, флаги битстаффинга, состояние счетчика времени и прочее. Вскрытие противником этих данных открывает возможность внесения сбоев в работу радиолиний и сети за счет искажения данных управления. Служебная часть пакета (до 80 бит) должна маскироваться.

Данные синхронизации должны позволять приёмникам станций радиосети определять текущее время в часах передатчика. Это возможно при передаче части бит с выхода ЛРР в обход НУУ. Это и будут биты синхронизации (до 16 бит). Для их формирования необходим только открытый ключ.

Имитовставка (до 64 бит) передается при установлении соединения между радиостанциями. Её содержание должно являться функцией от текущего времени и содержания передаваемого пакета [2]. Выработка имитовставки производится перед маскированием.

Таким образом, если число рабочих частот в сети радиосвязи не превышает 128, то для решения названных задач достаточно для каждого пакета данных, передаваемого на отдельной частоте сформировать псевдослучайную последовательность длиной 151 бит (7 бит номера рабочей частоты + 64 бита маскирование имитовставки + до 80 бит маскирование служебной части) и передать 16 бит зашифрованных открытым ключом (биты сетевой синхронизации).

Устройство блока линейного рекуррентного регистра

Блок ЛРР состоит из следующих компонент:

- примитивный многочлен F – полином над полем $Z_2 = \{0, 1\}$ степени 128, заданный как набор из 128 бинарных коэффициентов по таблице примитивных полиномов, по модулю которого строится поле Галуа,
- образующий многочлен P – полином над полем $Z_2 = \{0, 1\}$, степени < 128 , взаимно-простой с многочленом F (возведение многочлена в различные степени по модулю многочлена F дает различные элементы поля Галуа), заданный набором из 128 бинарных коэффициентов,
- счетчик тактов времени N . Итеративно (циклически по модулю 2^{128}) возрастающее на единицу 128-битное число или текущая степень, в которую возводится многочлен P ,
- регистр линейного генератора R , хранящий текущее состояние: $R_N = P^N \text{mod} F$.

Следующее значение R получается путем умножения текущего регистра на образующий полином:

$$R_{N+1} = (R_N * P) \text{mod} F = (P | N * P) \text{mod} F$$

или возведением образующего полинома в нужную степень дихотомическим алгоритмом. Эта процедура определяет регистр сдвига с линейной обратной связью (РСЛОС), структура которого приведена на рис. 2.

Использованы следующие обозначения:

$C_i = \{0, 1\}$, $i = 1, \dots, L$ – коэффициенты полинома обратной связи,

$S_{L-1}, S_{L-2}, S_{L-3}, \dots, S_1, S_0$ – вектор текущего состояния регистра.

Система из двух многочленов и счетчика итераций аналогична набору $\text{deg}(F) = 128$ регистров, с одинаковыми полиномами обратной связи (многочлен F), но с различными сдвигами по времени, каждый из которых генерирует i -й бит регистра R , см. рис. 3. Полиномы F и P подобраны таким образом, что при каждой итерации (значении счетчика N)

число в регистре R является уникальным, то есть ни разу не повторяется на всем протяжении цикла генерации в $2^{128}-1$ тактов.

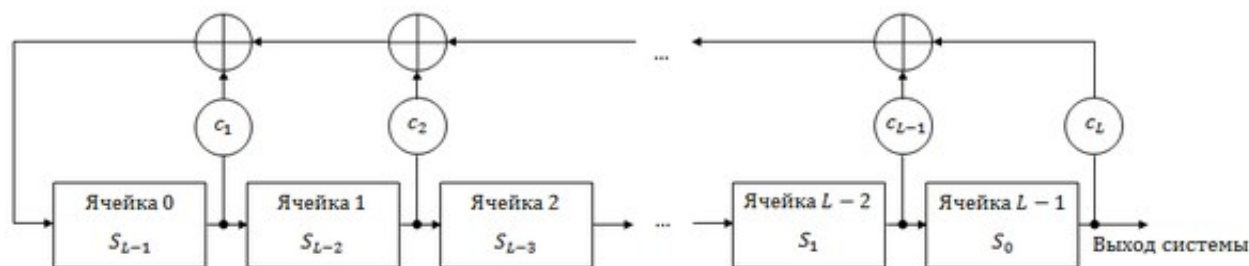


Рис. 2. Устройство регистра сдвига с линейной обратной связью

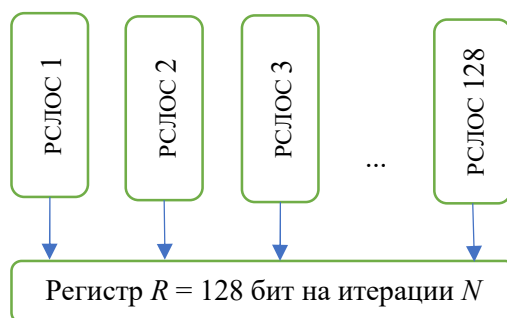


Рис. 3 Схема формирования регистра R

Устройство блока нелинейного узла усложнения

Задачей блока нелинейного узла усложнения является устранение зависимостей между значениями, генерируемыми блоком ЛРР. Поскольку блок линейного рекуррентного регистра представляет из себя комбинацию регистров сдвига с линейной обратной связью, правило его работы (полином обратной связи и текущее состояние регистра) может быть быстро восстановлено алгоритмом Берлекэмп – Мессе, всего лишь за 256 тактов генерации, что не отвечает требуемому уровню криптостойкости генератора псевдослучайной последовательности.

Для решения этой проблемы в качестве блока нелинейного узла усложнения используется набор из 32 максимально нелинейных булевых функций (или бент-функций, от английского “bent” – извиваться, гнуться), см. [8-9]. Такие функции хуже всего приближаются линейными, поэтому было решено использовать их. Каждая такая функция принимает на вход 128 бит из текущего регистра блока ЛРР и возвращает 1 бит по сложному правилу. Комбинируя все 32 бент-функции из набора, в результате генерации ПСП мы получаем 32-битное число.

Пусть множество $Z_2 = \{0, 1\}$. Через Z_2^n будем обозначать множество всех двоичных векторов $\vec{v} = (v_1, \dots, v_n)$ длины n . Будем считать, что все векторы лексикографически упорядочены. Например, для $n = 3$ порядок векторов будет следующий: (000), (001), (010), (011), (100), (101), (110), (111). Произвольная функция из множества Z_2^n в множество Z_2 называется булевой функцией от n переменных. Например, $f: Z_2^2 = Z_2$ задаётся перебором всех значений: $f(0, 0) = 1$, $f(0, 1) = 0$, $f(1, 0) = 0$, $f(1, 1) = 1$, $g: Z_2^3 = Z_2$ задаётся правилом: $g(v_i, v_j, v_k) = 1$, если вес Хемминга вектора \vec{v} равен $\text{Hamming}(\vec{v}) = 2$ и $g(v_i, v_j, v_k) = 0$ в противном случае.

Каждая булева функция от n переменных однозначно определяется вектором её значений длины 2^n . Например, вектором значений функции f является вектор $\{1, 0, 0, 1\}$ длины $2^2 = 4$, а функции g – вектор $\{0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0\}$ длины $2^3 = 8$.

Пусть \oplus обозначает сложение по модулю 2, иначе – булеву операцию XOR. Известно, что любая булева функция однозначно может быть задана своей алгебраической нормальной формой (АНФ), а именно, представлена в виде:

$$f(\vec{v}) = a_0 \oplus a_1 \cdot v_1 \oplus a_2 \cdot v_2 \oplus \dots \oplus a_{12} \cdot v_1 \cdot v_2 \oplus a_{13} \cdot v_1 \cdot v_3 \oplus \dots \oplus a_{12\dots n} \cdot v_1 \cdot v_2 \cdot \dots \cdot v_n.$$

Каждое слагаемое представляет собой произведение одной и всевозможных выборок переменных, составляющих вектор \vec{v} размерности n , умноженных на соответствующий коэффициент $a_i \in \{0, 1\}$. Количество слагаемых равно 2^n , каждое слагаемое встречается ровно один раз. Коэффициент a_0 , отвечающий пустой выборке, называют инверсионной константой.

Например, алгебраическая нормальная форма приведенных выше функций, выглядят следующим образом:

$$f(v_1, v_2) = v_1 \oplus v_2 \oplus 1, \quad g(v_1, v_2, v_3) = v_1 v_2 \oplus v_1 v_3 \oplus v_2 v_3 \oplus v_1 v_2 v_3.$$

Такое представление является единственным для любой булевой функции и взаимно-однозначным с любым другим способом её представления, будь то полное перечисление значений или некое логическое правило. Таким образом, вводится понятие степени булевой функции, как числа переменных в самом длинном слагаемом её АНФ. В приведенном примере, $\text{deg}(f) = 1$ и $\text{deg}(g) = 3$.

Функцию называют аффинной (или линейной), квадратичной, кубической и т. д., если её степень равна соответственно 1, 2, 3 и т. д.

Каждая аффинная булева функция от n переменных имеет вид $(\vec{a}, \vec{v}) \oplus a_0$, где $\vec{v} = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ – вектор переменных, $\vec{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ – вектор коэффициентов АНФ, (\vec{a}, \vec{v}) – скалярное произведение векторов \vec{a} и \vec{v} , a_0 – инверсионная константа.

Расстоянием $\text{dist}(f, g)$ между двумя булевыми функциями f и g называется расстояние Хемминга между векторами их значений, то есть количество отличающихся позиций. Максимально нелинейной булевой функцией от n переменных называется такая булева функция, которая находится на максимально возможном расстоянии N_f до множества всех аффинных функций от n переменных. Величину N_f называют нелинейностью булевой функции. В случае четного n , максимально возможное значение нелинейности составляет

$$2^{n-1} - 2^{n/2-1}.$$

Разложением Уолша-Адамара булевой функции f от g переменных называется целочисленная функция W_f , заданная на множестве Z_2^n равенством:

$$W_f(\vec{v}) = \sum_{\vec{a} \in Z_2^n} (-1)^{(\vec{a}, \vec{v}) \oplus f(\vec{a})}.$$

которое является разложением булевой функции f по базису всех линейных функций. Нелинейность N_f произвольной булевой функции f определяется коэффициентами разложения Уолша-Адамара, а именно: $N_f = 2^{n-1} - \frac{1}{2} \max_{\vec{v} \in Z_2^n} |W_f(\vec{v})|$. Бент-функция является булевой функцией от четного числа переменных, обладающая максимально возможным значением нелинейности, то есть $2^{n-1} - 2^{n/2-1}$.

Примеры рядов коэффициентов разложения Уолша-Адамара линейной, нелинейной и бент-функций приведены, соответственно, на рис. 2 – рис. 4.

На рис. 2 видно, что для линейной функции имеет место строгая корреляция с одной из функций базиса.

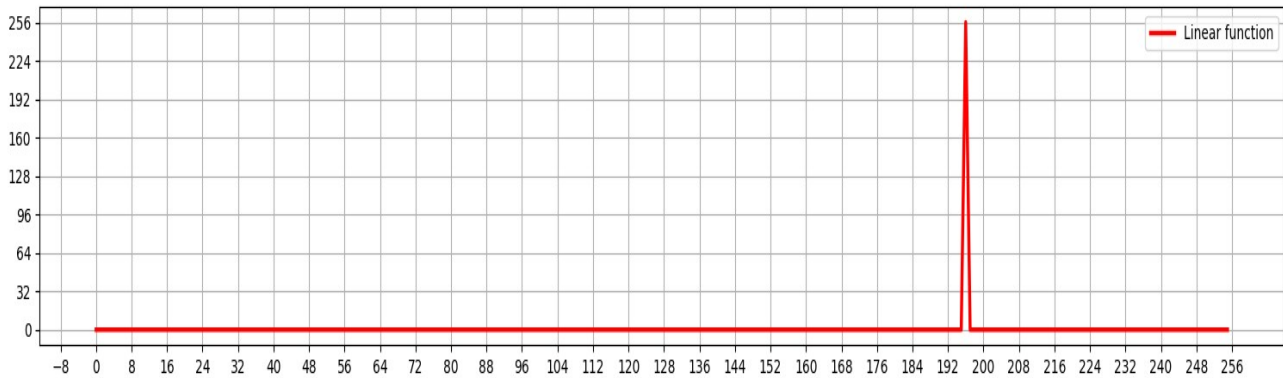


Рис. 2. Коэффициенты Уолша-Адамара линейной функции (пример)

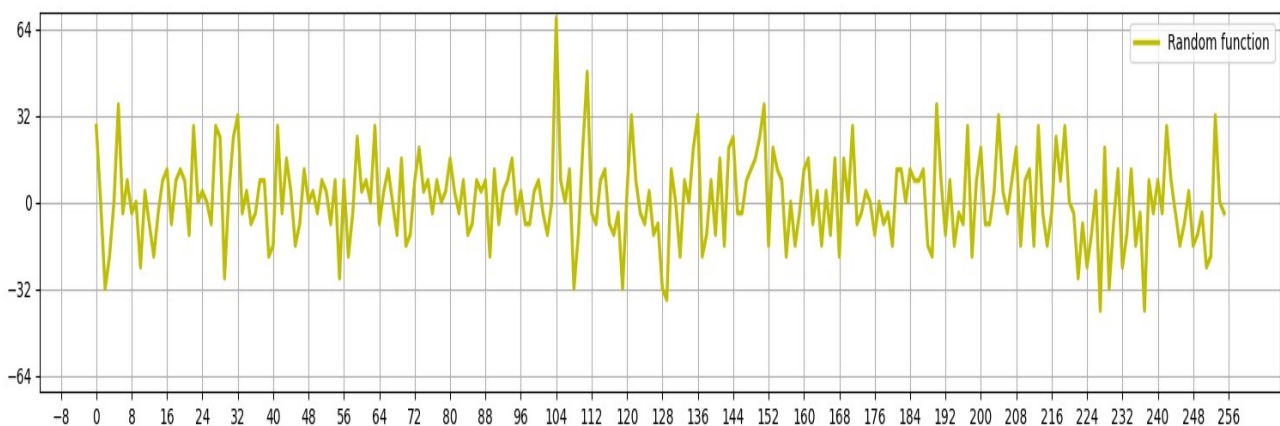


Рис. 3. Коэффициенты Уолша-Адамара случайной нелинейной булевой функции

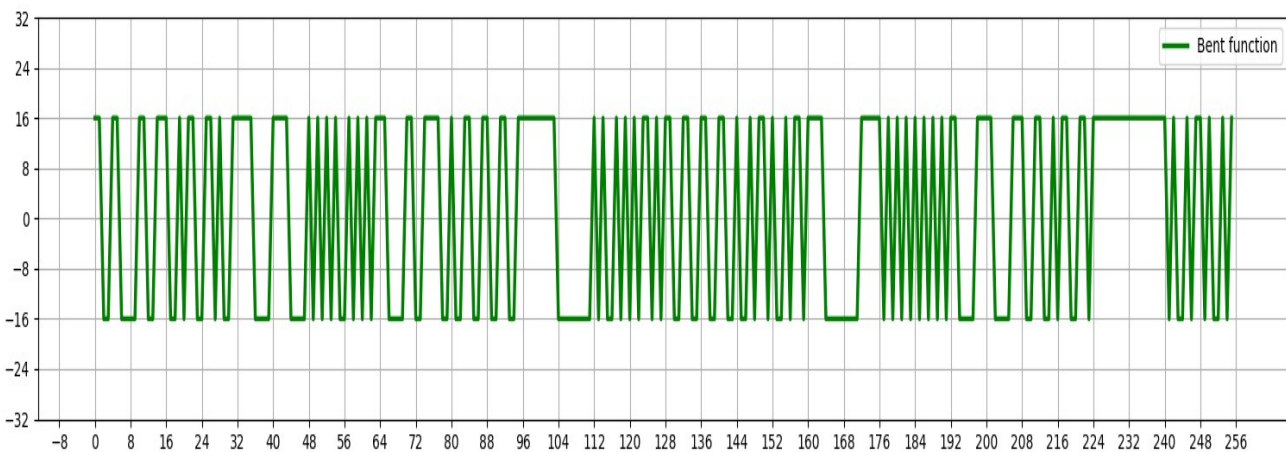


Рис. 4. Коэффициенты Уолша-Адамара бент-функции

Для построения бент-функций удобно использовать простую конструкцию Майорана-МакФарланда: пусть h – любая перестановка на $Z_2^{n/2}$, а g – произвольная булева функция от $n/2$ переменных, тогда функция $f(u', u'') = (u', h(u'')) \oplus g(u'')$ – будет являться бент-функцией от n переменных.

Нелинейный узел усложнения реализуется как набор из 32 бент-функций класса Майорана-МакФарланда. При этом выбор произвольной булевой функций g в классе Майорана-МакФарланда не влияет на её криптографические свойства, что упрощает её реализацию.

Перестановка h реализована как автоморфизм $\psi: F \rightarrow F$, где F – пространство целых чисел по модулю 2^{64} .

$$\psi(u) = (u \cdot k + p) \bmod(2^{64}); \quad u, k, p \in F, k \bmod(2) = 1, p - \text{произвольное.}$$

В настройках генератора ПСП есть возможность корректировать количество задействованных бент-функций. Таким образом можно управлять количеством бит, получаемых получается на каждом шаге генерации (от 1 до 32, по умолчанию – 4).

Оценка свойств генератора псевдослучайной последовательности

На сегодняшний день, использование сложных нелинейных булевых функций считается одним из надежных способов криптозащиты. Бент-функции постепенно набирают популярность, растет количество исследований на эту тему.

В табл. 1 приведено обоснование криптостойкости предложенного алгоритма к основным видам криптографических атак.

Как можно видеть из табл. 1 использование предложенного блока нелинейного узла усложнения с высокой вероятностью обеспечивает достаточный уровень криптографической защиты. Однако в настоящей работе, не исследовались возможности аппроксимации предложенного алгоритма булевыми функциями небольших степеней. Также не исследованы возможности дифференциального криптоанализа для организации криптографических атак. Для устранения неопределенности требуются дополнительные исследования.

Таблица 1 – Обоснование криптостойкости алгоритма к основным видам криптографических атак

№ п/п	Вид криптографической атаки	Обоснование стойкости предложенного алгоритма
1.	Аппроксимация линейной функцией	Бент функция обладает максимальной нелинейностью, то есть, её невозможно приблизить линейной функцией схожего порядка
2.	Линеаризация системой уравнений	Практически невозможна при большой степени бент-функции – количество уравнений необозримо большое. Например, для минимально используемой степени 7 при переключении генератора 20 раз в секунду, потребуется больше года, чтобы набрать нужное количество уравнений
3.	Корреляционная атака	Известно, что корреляционная иммунность бент-функции равна нулю. Однако для применения данного способа атаки, требуется сбор большого количества статистики, что невозможно в срок, менее одного года
4.	Алгебраическая атака	Это приближение структуры шифратора нелинейными функциями малых степеней. Для бент функции от 128 переменных гарантируется алгебраическая иммунность выше 10 степени. Требуемая статистика не может быть собрана за год

Для оценки статистической устойчивости, получаемой ПСП использовались статистические тесты, разработанные Национальным институтом стандартов и технологий (NIST).

В табл. 2 приведен перечень тестов NIST. Результаты всех проверок указывают соответствие предъявляемым требованиям.

Можно утверждать, что предложенный алгоритм производит в достаточной мере случайную и статистически устойчивую последовательность.

Таблица 2 – Результаты проверки алгоритма по тестам NIST

№ п/п	Вид теста	Содержание теста
1.	Частотный побитовый тест	Определение соотношения между количеством нулей и единиц во всей двоичной последовательности. Оценивает, насколько доля единиц близка к 0,5
2.	Частотный блочный тест	Определение доли единиц внутри блока длиной m бит
3.	Тест на последовательность одинаковых битов	Подсчет полного числа рядов в последовательности. Ряд – непрерывная последовательность одинаковых битов в последовательности
4.	Тест на самую длинную последовательность единиц в блоке	Определение самого длинного ряда единиц внутри блока длиной m бит
5.	Тест рангов бинарных матриц	Проверки на линейную зависимость подстрок одинаковой длины, составляющих первоначальную последовательность
6.	Спектральный тест	Выявление периодических свойств последовательности, например, близко расположенных друг к другу повторяющихся участков
7.	Универсальный статистический тест Маурера	Проверка на возможность значительного сжатия последовательности без потери информации
8.	Тест на линейную сложность	Оценка длины регистра сдвига с обратной связью, генерирующего аналогичную данной последовательность
9.	Тест на периодичность	Оценка равномерности распределения 2^m перекрывающихся шаблонов длиной m бит
10.	Тест кумулятивных сумм	Оценка максимального отклонения от нуля при произвольном обходе, определяемым кумулятивной суммой заданных $\{-1,+1\}$ цифр в последовательности

Алгоритм пассивной синхронизации

Для реализации функции пассивной сетевой синхронизации на основе анализа принимаемых пакетов данных в режиме работы с ППРЧ, необходимо модифицировать структуру пакета данных, формируемого на каждой рабочей частоте. Он должен включать в себя n младших бит из текущего регистра ЛЛР, далее – синхронизирующие биты. Количество бит может быть произвольным – от 1 до 128 – от этого зависит лишь скорость функционирования алгоритма.

Для реализации данной функции необходимо чтобы:

- абонент знал открытый и закрытый ключи;
- в передаваемых пакетах данных радиосвязи присутствовали синхронизирующие биты;
- на момент подстройки абонентом синхронизации его приёмник должен прослушивать передачу любого другого абонента.

При отсутствии синхронизации в сети абонент в режиме ППРЧ может только случайным образом принимать пакеты данных передаваемые другими абонентами. На основе их анализа, при достоверном накоплении принятых синхронизирующих бит в количестве, равном или большем длины ЛЛР, он вычисляет текущее состояние ЛЛР. Синхронизирующие биты принимаются по частям, в различные моменты времени. Например, если в каждом слоте включено 8 синхронизирующих битов, то достаточно достоверно принять 16 слотов.

Быстродействие пассивной синхронизации зависит от следующих параметров:

- количество рабочих частот: чем их больше, тем меньше вероятность принять чью-либо передачу, случайно переключаясь между ними;
- количество синхронизирующих бит в каждом слоте: чем их больше, тем быстрее абонент на приемной стороне сможет собрать необходимую информацию;
- количество каналов, на которых одновременно принимается передача;

– частота передачи пакетов данных с синхронизирующими битами.

Алгоритм пассивной синхронизации не восстанавливает значение счетчика итераций линейного генератора: восстанавливается только текущее состояние регистра. Поскольку счетчик итераций напрямую не участвует в генерации следующего значения генерации $(R_{N+1} = (R_N * P) \bmod F = (P \mid N * P) \bmod F)$, то на работу генератора это не влияет.

а) Формирование пакетов данных со вставкой синхронизирующих бит

Из регистра R блока ЛРР, представляющего собой набор из 128 бит $(c_0, c_1, \dots, c_{126}, c_{127})$, выбираются n младших бит $(c_0, c_1, \dots, c_{n-1})$, в соответствии со вместимостью формируемого слота радиосвязи. Эти биты записываются в служебную часть слота напрямую, не подвергаясь шифрованию.

б) Алгоритм синхронизации

Используются следующие обозначения: F – примитивный многочлен, P – образующий многочлен, R – регистр блока ЛРР, N – счетчик итераций блока ЛРР. Вычисления в данном алгоритме проводятся в поле Галуа многочленов по модулю примитивного многочлена F , данные представляются как элементы этого поля:

1) Искомое состояние регистра ЛРР $R_{иск} = a_0 + a_1x + \dots + a_{127}x^{127}$, где a_0, a_1, \dots, a_{127} – искомые значения.

2) Образующий полином $P = p_0 + p_1x + \dots + p_{127}x^{127}$, где p_0, p_1, \dots, p_{127} – известны.

3) Образующий полином P в некоторой целой неотрицательной степени k рассчитывается дихотомическим способом возведения в степень и представляется в виде:

$$P^k \bmod F = (p_0 + p_1x + \dots + p_{127}x^{127})^k \bmod F = p_{0,k} + p_{1,k}x + \dots + p_{127,k}x^{127},$$

где $k \geq 0, k \in \mathbb{Z}, p_{0,k}, p_{1,k}, \dots, p_{127,k}$ – известны.

Введем также операцию векторизации многочлена $G = g_0 + g_1x + g_{127}x^{127}$:

$$(G) = (g_0, g_1, g_2, \dots, g_{127}).$$

Начало алгоритма:

1) Заводится счетчик итераций, потраченных на синхронизацию – t . Начальное значение равно $t = 0$.

2) Вызывается цикл:

i) В случае, когда удастся принять сообщение из сети, выполняются 1-4 пункты цикла.

ii) На вход алгоритма принимается набор из n коэффициентов (c_0, c_1, c_{n-1}) полинома:

$$R_{иск} * P^t \bmod F = c_0 + c_1x + \dots + c_{127}x^{127}.$$

iii) Каждый из коэффициентов c_0, c_1, c_{n-1} выражается через коэффициенты многочленов P^t и $R_{иск}$:

$$R_{иск} * P^t \bmod F = (a_0 + a_1x + \dots + a_{127}x^{127}) * P^t \bmod F = a_0 * P^t \bmod F + a_1x * P^t \bmod F + \dots + a_{127}x^{127} * P^t \bmod F = c_0 + c_1x + \dots + c_{127}x^{127}.$$

Пусть M – квадратная матрица размера 128, каждый столбец с номером i которой равен транспонированному вектору $(x^i \cdot P^t \bmod F)$

$$M = \left(\overline{(P^t \bmod F)^T}, \overline{(x \cdot P^t \bmod F)^T}, \dots, \overline{(x^{127} \cdot P^t \bmod F)^T} \right).$$

Тогда равенство можно представить в матричном виде:

$$M \cdot \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_{127} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_{127} \end{pmatrix}. \tag{1}$$

Из матричного произведения получаются выражения для каждого $c_i \in (c_0, c_1, \dots, c_{127})$, а поскольку коэффициенты (c_0, c_1, c_{n-1}) известны, их выражения являются линейными уравнениями относительно $(a_0, a_1, \dots, a_{127})$. Каждое из n полученных уравнений добавляется в систему уравнений.

iv) Проводится проверка на полноту системы. В случае положительного результата цикл обрывается.

v) Счетчик итераций t увеличивается на 1.

3) Решается система уравнений (1): находятся коэффициенты a_0, a_1, \dots, a_{127} , становится известным $R_{исх} = a_0 + a_1 x + \dots + a_{127} x^{127}$.

4) Полученное значение $R_{исх}$ умножается на P^t , чтобы компенсировать количество тактов генерации, потраченных на синхронизацию, после чего записывается в регистр ЛРР. После этого ЛРР передающей и приёмной радиостанций имеют одинаковое заполнение.

Алгоритм завершен.

Заключение

На основе принципов формирования и приёма блочных шифров предложен алгоритм формирования блоков псевдослучайной последовательности в синхронной сети пакетной радиосвязи. В приводимых примерах его параметры адаптированы к характеристикам радиосредств и параметрам радиоканалов декаметрового диапазона. Предложенный алгоритм позволяет комплексно решить четыре задачи. Во-первых, реализовать пассивную сетевую синхронизацию. Данное решение позволит существенно уменьшить стоимость аппаратуры передачи данных станции радиосети за счет отказа от использования высокостабильных опорных генераторов. Динамическая подстройка меток сетевого времени будет реализована за счет анализа бит синхронизации в передаваемых станциями сети пакетах данных. Во-вторых, фрагмент получаемой ПСП предназначен для маскирования служебных бит пакета путем гаммирования блока данных и ПСП. В-третьих, иной фрагмент получаемой ПСП используется для вычисления номера следующей рабочей частоты в режиме ППРЧ. В-четвертых, сформированная контрольная сумма передаваемого пакета данных, заданной длины, маскированная третьим фрагментом ПСП обеспечит функцию имитозащиты установленного соединения.

Литература

1. ГОСТ 34.12-2018 Межгосударственный стандарт «Информационная технология. Криптографическая защита. Блочные шифры». Москва: Стандартинформ, 2018. 14 с.
2. ГОСТ Р 34.13-2018 Национальный стандарт РФ «Криптографическая защита информации. Режимы работы блочных шифров». Москва: Стандартинформ, 2016. 25 с.
3. ISO/IEC 18033-3:2010 «Information technology. Security techniques. Encryption algorithms», ISO/IEC, 2010. 78 p.
4. ГОСТ 28147-1989 Государственный стандарт СССР «Системы обработки информации. Защита криптографическая. Алгоритм криптографического преобразования». Москва: Издательство стандартов, 1989. 28 с.
5. Путилин А. Н., Хвостунов Ю. С. Концепция построения сети дальней радиосвязи // Сборник докладов XII Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика (РИ-2010)», СПб.: СПОИСУ, 2010. С. 93.
6. Путилин А. Н., Гук И. И., Сиротинин И. В., Хвостунов Ю. С., Результаты проведения трассовых испытаний комплекса технических средств «Импульс – АПР» // Труды XI Российской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в системах связи и управления». Калуга: Ноосфера, 2012. С. 88-90.
7. Путилин А. Н. Модель взаимодействия линии радиосвязи и станции радиоэлектронного подавления // Труды юбилейной XIII Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика (РИ-2012)», – СПб.: СПОИСУ, 2013. С. 196-207.
8. Токарева Н. Н. Нелинейные булевы функции: бент-функции и их обобщения // Издательство LAP LAMBERT Academic Publishing (Saarbrücken, Germany), 2011. ISBN: 978-3-8433-0904-2. 180 с.
9. Молдовян А.А., Молдовян Н.А. Введение в криптосистемы с открытым ключом. –СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 286 с.

References

1. GOST 34.12-2018 *Mezhhgosudarstvennyj standart «Informacionnaya tekhnologiya. Kriptograficheskaya zashchita. Blochnye shifry»* [Interstate standard "Information technology. Cryptographic protection. Block ciphers"]. Moscow, Standartinform, 2018. 14 p. (in Russian).
2. GOST R 34.13-2018 *Nacional'nyj standart RF «Kriptograficheskaya zashchita informacii. Rezhimy raboty blochnyh shifrov»* [National standard of the Russian Federation "Cryptographic protection of information. Modes of operation of block ciphers"]. Moscow, Standartinform, 2016. 25 p. (in Russian).
3. ISO/IEC 18033-3:2010 «Information technology. Security techniques. Encryption algorithms», ISO/IEC, 2010. 78 p.
4. GOST 28147-1989 Gosudarstvennyj standart SSSR «Sistemy obrabotki informacii. Zashchita kriptograficheskaya. Algoritm kriptograficheskogo preobrazovaniya» [State standard of the USSR "Information processing systems. Cryptographic protection. Cryptographic transformation algorithm"]. Moscow, Publishing House of Standards, 1989. 28 p. (in Russian).
5. Putilin A. N., Khvostunov Yu. S. *Koncepciya postroeniya seti dal'nej radiosvyazi. Sbornik dokladov XII Sankt-Peterburgskoj mezhdunarodnoj konferencii «Regional'naya informatika (RI-2010)»* [The concept of building a long-range radio communication network]. *Sbornik dokladov XII Sankt-Peterburgskoj mezhdunarodnoj konferencii «Regional'naya informatika (RI-2010)»* [Collection of reports of the XII St. Petersburg International Conference "Regional Informatics (RI-2010)"]. St. Petersburg, SPOISU, 2010. P. 93. (in Russian).
6. Putilin A. N., Guk I. I., Sirotinin I. V., Khvostunov Yu. S. *Rezultaty provedeniya trassovyh ispytanij kompleksa tekhnicheskikh sredstv «Impul's – APR»* [Results of track tests of the complex of technical means "Impulse – APR"]. *Trudy XI Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Novye informacionnye tekhnologii v sistemah svyazi i upravleniya»* [Proceedings of the XI Russian Scientific and Technical conference "New information technologies in communication and control systems"]. Kaluga, Noosphere Publ., 2012. Pp. 88-90 (in Russian).
7. Putilin A. N. *Model' vzaimodejstviya linii radiosvyazi i stancii radioelektronnoogo podavleniya* [Model of interaction of a radio communication line and an electronic suppression station]. *Trudy yubilejnoj XIII Sankt-Peterburgskoj mezhdunarodnoj konferencii «Regional'naya informatika (RI-2012)»* [Proceedings of the jubilee XIII St. Petersburg International Conference "Regional Informatics (RI-2012)"]. St. Petersburg, SPOISU, 2013. Pp. 196-207 (in Russian).
8. Tokareva N. N. *Nonlinear Boolean functions: bent functions and their generalizations*. LAP LAMBERT Academic Publishing (Saarbrücken, Germany), 2011. ISBN: 978-3-8433-0904-2. 180 p. (in Russian).
9. Moldovyan A. A., Moldovyan N. A. *Vvedenie v kriptosistemy s otkryтым klyuchom* [Introduction to public key cryptosystems]. St. Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2005. 286 p. (in Russian).

Статья поступила 25 июня 2023 г.

Информация об авторах

Иванов Григорий Денисович – Техник научно-технического центра ПАО «Интелтех». Область научных интересов: передача, прием и обработка информации. Тел.: +7-921-975-53-47. E-mail: IvanovGD@inteltech.ru.

Иванов Денис Владимирович – Кандидат физико-математических наук. Начальник лаборатории. ООО «Фирма «НИТА». Область научных интересов: передача, прием и обработка информации. Тел.: +7-911-000-90-11. E-mail: DenisIvanov2004@mail.ru.

Путилин Алексей Николаевич – Доктор технических наук, профессор. Главный научный сотрудник научно-технического центра ПАО «Интелтех». Область научных интересов: передача, прием и обработка информации. Тел.: +7-905-220-26-33. E-mail: PutilinAN@inteltech.ru.

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская д. 8.

Pseudorandom number generator in stations of decameter radio network

G. D. Ivanov, D. V. Ivanov, A. N. Putilin

Abstract: When creating stations of a decameter radio communication network protected from electronic suppression, a number of tasks related to the generation of random numbers arise. These are the tasks of ensuring network synchronization, synthesizing the sequence of switching operating frequencies, masking data and ensuring the imitability of radio communication sessions. **The purpose** of the article: Based on the principles of the formation and reception of block ciphers, to propose an algorithm for the formation of pseudo-random sequence blocks in a synchronous packet radio network that meets these requirements. **The results obtained:** the rational structure of the generator is formed, its properties are investigated, the results of its testing are given, an algorithm for passive network synchronization is proposed. **Novelty:** in the examples given, the parameters of the pseudorandom number generator are adapted to the characteristics of radio equipment and the parameters of decameter radio channels. **Practical significance:** the proposed algorithm allows to solve four problems comprehensively. First, implement passive network synchronization. This solution will significantly reduce the cost of data transmission equipment of the radio network station by eliminating the use of highly stable reference generators. Dynamic adjustment of network timestamps will be implemented by analyzing synchronization bits in data packets transmitted by network stations. Secondly, a fragment of the received pseudorandom sequence is intended to mask the service bits of the packet by jamming the data block and the pseudorandom sequence. Thirdly, another fragment of the received pseudorandom sequence is used to calculate the number of the next operating frequency in the mode of changing the operating frequency according to the pseudorandom law. Fourth, the generated checksum of the transmitted data packet, of a given length, masked by the third fragment of a pseudo-random sequence, will provide the function of imitoprotection of the established connection.

Keywords: pseudorandom number generator, pseudorandom frequency change, network synchronization, decameter radio communication network.

Information about the authors

Grigory Denisovich Ivanov – is a technician at the Scientific and Technical Center of PJSC "Inteltech". Research interests: transmission, reception and processing of information. Tel.: +7-921-975-53-47. E-mail: IvanovGD@inteltech.ru .

Denis Vladimirovich Ivanov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Head of the laboratory. LLC "Firm "NITA". Research interests: transmission, reception and processing of information. Tel.: +7-911-000-90-11. E-mail: DenisIvanov2004@mail.ru.

Putilin Alexey Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor. Chief Researcher of the Scientific and Technical Center of PJSC "Inteltech". Research interests: transmission, reception and processing of information. Tel.: +7-905-220-26-33. E-mail: PutilinAN@inteltech.ru .

Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya str., 8.

Для цитирования: Иванов Г. Д., Иванов Д. В., Путилин А. Н. Генератор псевдослучайных чисел в станциях сети декаметровой радиосвязи // Техника средств связи. 2023. № 2 (162) С. 35-47. DOI:10.24412/2782-2141-2023-2-35-47.

For citation: Ivanov G. D., Ivanov D. V., Putilin A. N. Pseudorandom Number Generator in Decameter Radio Communication Network Stations // Means of Communication equipment. 2023. No. 3. № 2 (162). Pp. 35-47. DOI:10.24412/2782-2141-2023-2-35-47 (in Russian).

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.391

DOI:10.24412/2782-2141-2023-2-48-55

Системотехнические решения по взаимодействию гетерогенных сетей связи на основе мультиагентных технологий управления

Раков И. В., Титов Г. С., Талагаев В. И.

Аннотация: В статье ставится задача проведения анализа структуры современных телекоммуникационных сетей, с целью выявления ряда системных задач организации взаимодействия гетерогенных сетей связи: описания взаимодействующих сетей связи; оценки текущих значений показателей сети связи; оценки необходимых для предоставления услуг ресурсов; выбора параметров управления услугами; управления показателями сети связи на основе выбранных значений параметров. В качестве **методов** для решения указанных задач предлагается использовать мультиагентные технологии. **Результат:** исходя из целей взаимодействия определены основные необходимые виды агентов сетевого и терминального оборудования. Часть из них использует существующие программные средства сетевого управления. Остальные – представляют собой вновь разработанные программные взаимодействующие сущности, что и определяет **новизну** исследования. **Практическая значимость** состоит в том, что проверка методики осуществлялась на экспериментальном образце взаимодействующих гетерогенных сетей связи, в которых требовалось обеспечить задачу получения данных из пула эквивалентных серверов баз данных. Представленные в статье системотехнические решения демонстрируют возможность мультиагентного управления взаимодействием гетерогенных сетей связи с учетом требований пользователя и состояния сетей связи. В основе предложенного подхода лежит механизм формирования и последующего применения Парето-оптимальных правил, позволяющий адаптироваться к изменяющимся свойствам сетевой инфраструктуры и поведению пользовательских приложений. Дальнейшая разработка системотехнических принципов и создание средств информационно-логического взаимодействия гетерогенных сетей требует исследования вопросов описания наиболее распространенных услуг (мультимедиа, FTP, email) с помощью онтологий и интеграции агентов на их основе.

Ключевые слова: гетерогенная сеть связи, интеллектуальные составляющие, интерфейс, информационно-логическое взаимодействие, мультиагентная технология, протокол сетевого управления, сетевое управление.

Введение

Функционирование современных телекоммуникационных сетей обеспечивается на основе информационно-логического взаимодействия между уровнями иерархически организованной системы по простому протоколу сетевого управления SNMP (Simple Network Management Protocol) международной организации по стандартизации OSI/ISO (Open System Interconnection International Organization For Standardization). Спецификация рассматриваемых уровней системы выполнена в классической семиуровневой модели. Каждый уровень имеет точку взаимодействия с соседними уровнями, при этом любой уровень может иметь не более двух соседей. В зависимости от направления взаимодействия определяются смежные уровни, которые поставляют исходную информацию и получают результаты обработки.

Жизнеспособность сетей связи, использующих модель OSI/ISO, обеспечивается логическим обособлением функций каждого уровня и четкой спецификацией интерфейсов их взаимодействия. Это позволяет разработчикам реализовывать собственные сетевые устройства, протоколы связи в пределах одного уровня, но в

обязательном порядке реализующих требования спецификации интерфейса. Со временем стал проявляться недостаток такой организации, заключающийся в невозможности оценить сквозные характеристики системы связи между двумя точками доступа верхнего уровня в силу их нелинейности. Данный недостаток является особенностью используемой модели и ее неотъемлемой частью. То есть, преодолеть его средствами самой модели невозможно.

Требования к услугам связи

Несовершенство модели стало особенно заметно с тенденцией ориентированности на услуги современных сетей связи. В описание услуги должны входить объем услуги и требования по качеству обслуживания. В табл. 1 перечислены требования к некоторым современным услугам связи (ITU-T recommendation G.1010 от 11/2001).

Таблица 1 – Требования к услугам связи аудио/видео пользовательских приложений

Пользовательское приложение	Характер обмена	Типичная скорость	Параметры QoS		
			Задержка в одном направлении	Вариация задержки	PRL – packet ratio loss (потеря информации)
Телефонный разговор	Двунаправленный	4-64 Кбит/с	< 150 мс	< 1мс	< 3 %
Голосовое сообщение	Однонаправленный	4-32 Кбит/с	< 100 мс – для проигрывания; < 200 мс – для записи	< 1мс	< 3 % PRL
Аудиопоток высокого качества	Однонаправленный	16-128 Кбит/с	< 10 мс	<< 1мс	< 1 % PRL
Видеотелефон	Двунаправленный	16-384 Кбит/с	< 150 мс	не определ.	< 1 % PRL
Видеонаблюдение	Однонаправленный	16-384 Кбит/с	< 10 мс	не определ.	< 1 % PRL

Согласно ряду научных исследований [1] для решения описанной проблемы необходимо внести в компоненты сети связи интеллектуальные элементы. В современных информационных технологиях их разработка исследуется в разделе мультиагентных технологий. Наиболее развитый набор спецификаций в области интеллектуальных агентов разработан FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents). Согласно спецификации FIPA агент «обладает способностью предоставить в рамках унифицированной и интегрированной исполнительной модели один или более сервисов, которые могут включать доступ к внешнему программному обеспечению, пользователям и коммуникационным возможностям».

В составе программного обеспечения управления сетями связи широко распространен протокол SNMP [2]. В данном протоколе выделяются роли агента сетевого или терминального оборудования и менеджера. Агент сетевого оборудования принадлежит к классу реактивных агентов. Менеджер SNMP может содержать интеллектуальную составляющую.

Для организации взаимодействия гетерогенных сетей связи с целью обеспечения необходимого качества обслуживания необходимо решить следующие задачи:

- 1) Описание взаимодействующих сетей связи.
- 2) Оценка текущих значений показателей сети связи.

- 3) Оценка необходимых для предоставления услуг ресурсов.
- 4) Выбор параметров управления услугами.
- 5) Управление показателями сети связи на основе выбранных значений параметров.

Модель мультиагентных средств управления взаимодействием и услугами

Для описания взаимодействующих сетей связи может быть использована модель функционального описания сетей на основе Network Simulator [3]. Задачи 2 и 5 из приведенного списка решаются с помощью SNMP агента и SNMP менеджера. Для обеспечения задач 3 и 4 требуется разработка особого вида агентов – мониторинга состояния предоставляемой услуги и менеджера услуг. Таким образом, необходимы 4 типа взаимодействующих агентов:

- 1) Агенты системы мониторинга и управления состоянием сети связи и сетевых элементов.
- 2) Менеджеры системы мониторинга и управления состоянием сети связи и сетевых элементов.
- 3) Агент системы мониторинга и управления состоянием услуги.
- 4) Менеджер системы мониторинга и управления состоянием услуги.

Уровни и страты модели мультиагентных средств управления взаимодействием и услугами показаны на рис. 1. В частности, на рисунке проиллюстрированы роли участвующих агентов в решении задач.

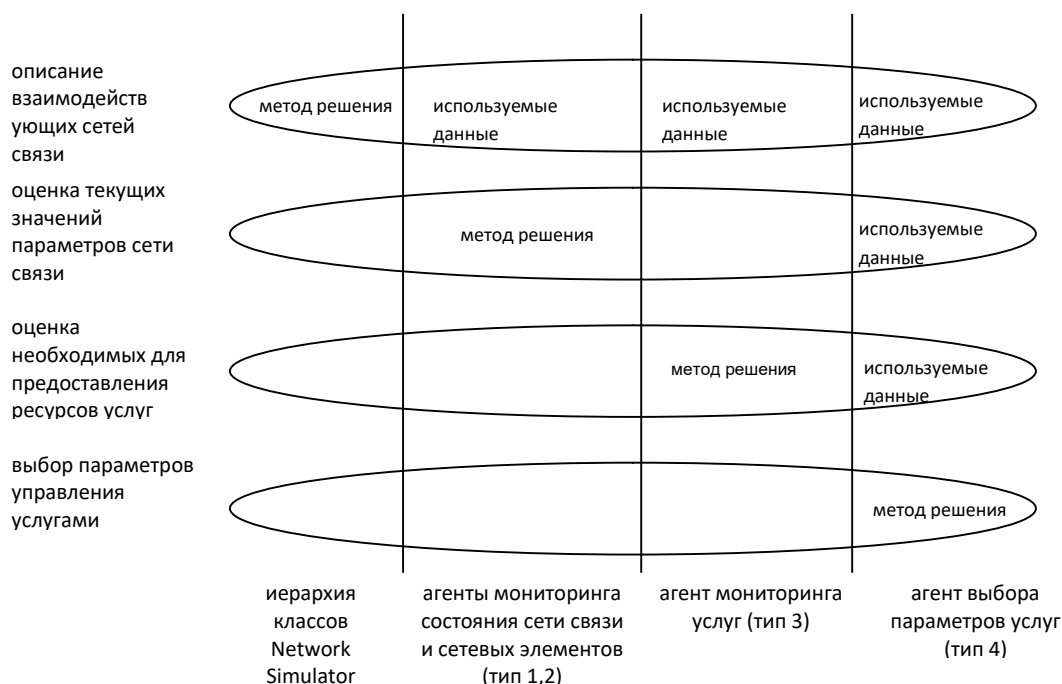


Рис. 1. Модель мультиагентных средств управления взаимодействием и услугами

На рис. 2 показаны потоки данных в процессе сбора и обработки информации сообществом агентов, а также управляющие воздействия, выработанные на основе собранной информации.

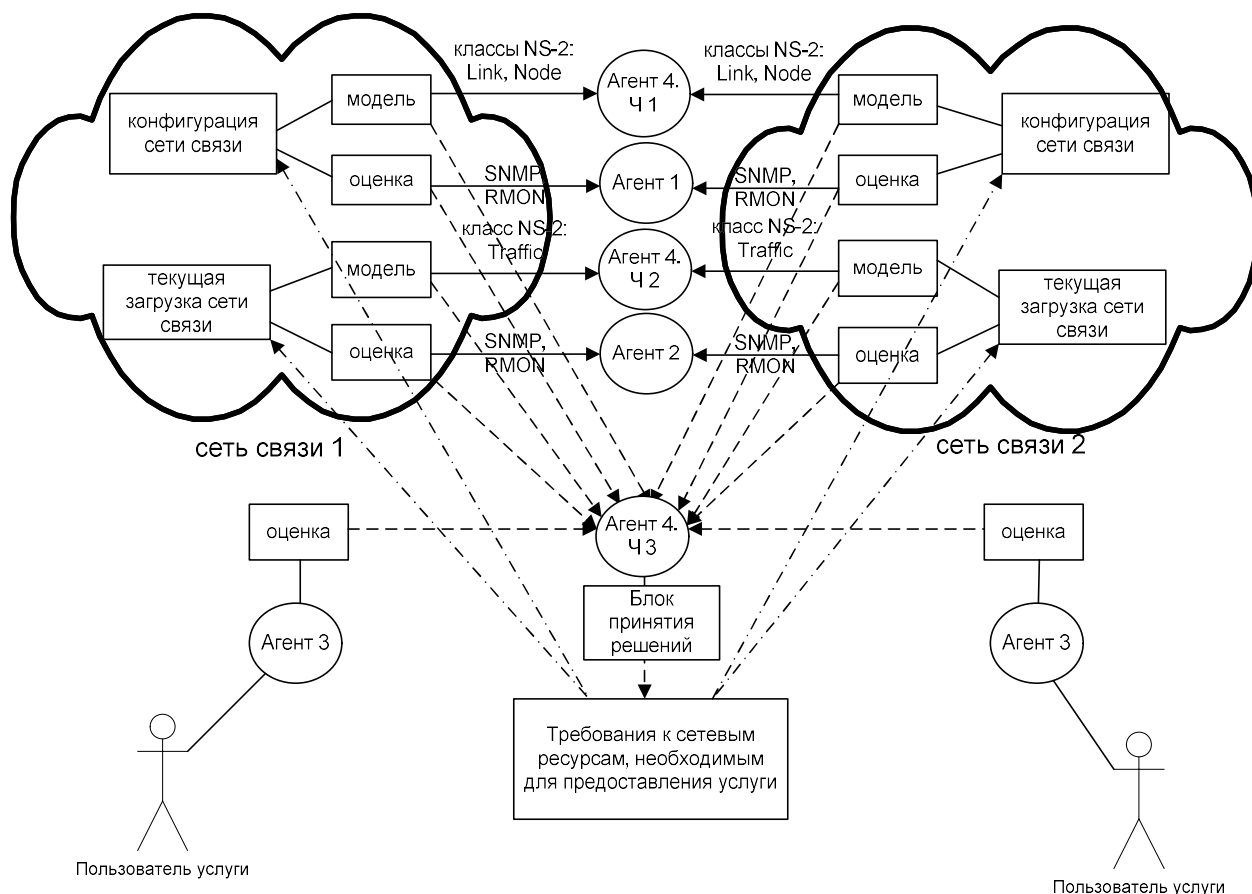


Рис. 2. Схема функционального взаимодействия гетерогенных сетей на основе мультиагентного подхода

Агент 4-го типа представлен в трех логических частях, первая из которых отвечает за сбор данных о конфигурации сети связи, вторая оценивает текущую загрузку сети связи, третья определяет необходимое управляющее воздействие, позволяющее обеспечить необходимый уровень качества обслуживания. На рис. 2 пунктирными линиями показаны потоки данных, используемые агентом 4-го типа в качестве входной информации. Штрихпунктирными линиями показаны управляющие воздействия, формируемые агентом 4-го типа.

Результаты экспериментальных исследований

Для исследований свойств возможностей организации взаимодействия гетерогенных сетей связи на основе мультиагентной технологии, был создан экспериментальный образец мультиагентных средств (рис. 3). Назначение экспериментального образца – решение задачи выбора сервера услуг из пула серверов. В представленном образце пул содержит два сервера, принадлежащих двум гетерогенным сетям связи. Каждый из серверов может предоставить равноценные услуги с точки зрения состава услуг. Отличия заключаются в сетевой доступности серверов услуг. В основе выработки решений по выбору параметров услуги и сети связи, обеспечивающих требуемое качество обслуживания, лежит метод формирования правил. Каждое правило охватывает множество допустимых значений параметров и указывает управляющие воздействия. В образце в качестве такого воздействия рассматривался выбор соответствующего сервера услуг, размера TCP пакета сетевого соединения. Последовательность выработки и применения Парето-оптимальных правил выбора параметров для услуг SQL-запросов представлена на рис. 4.

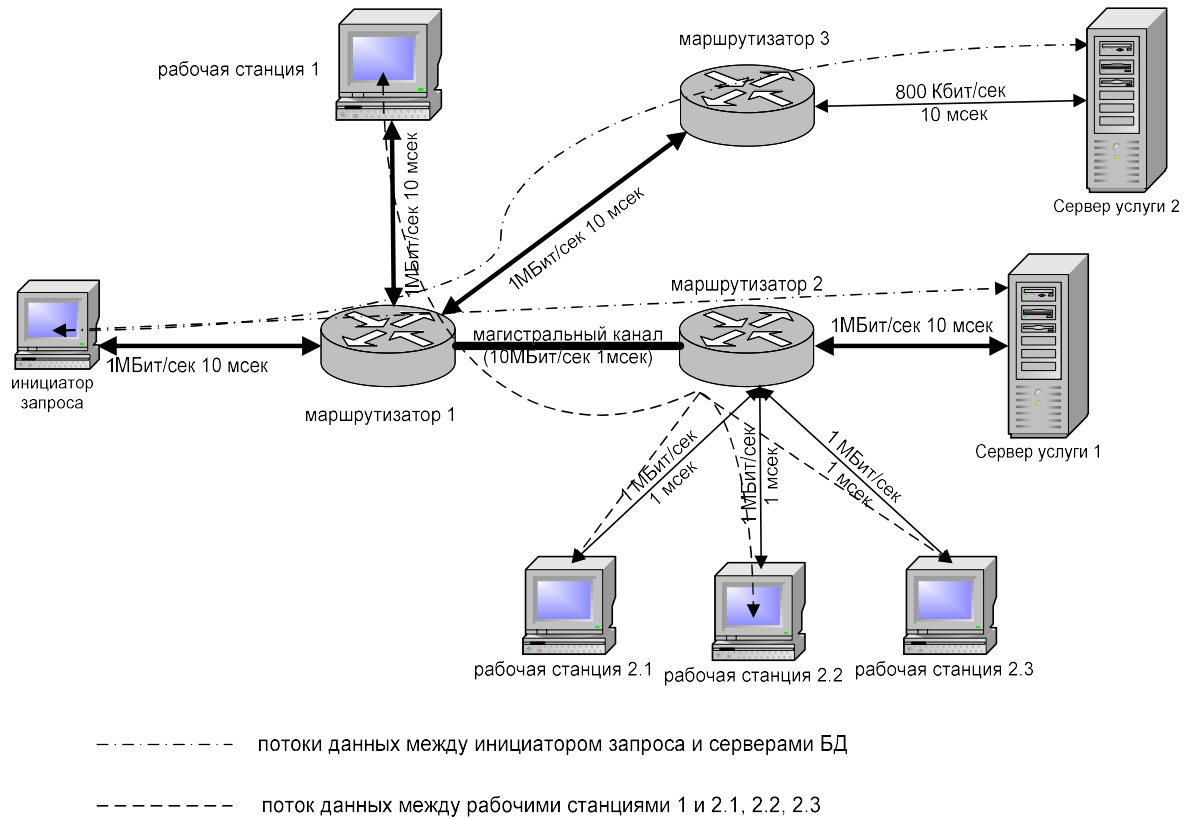


Рис. 3. Экспериментальный образец мультиагентных средств организации взаимодействия гетерогенных инфокоммуникационных сетей

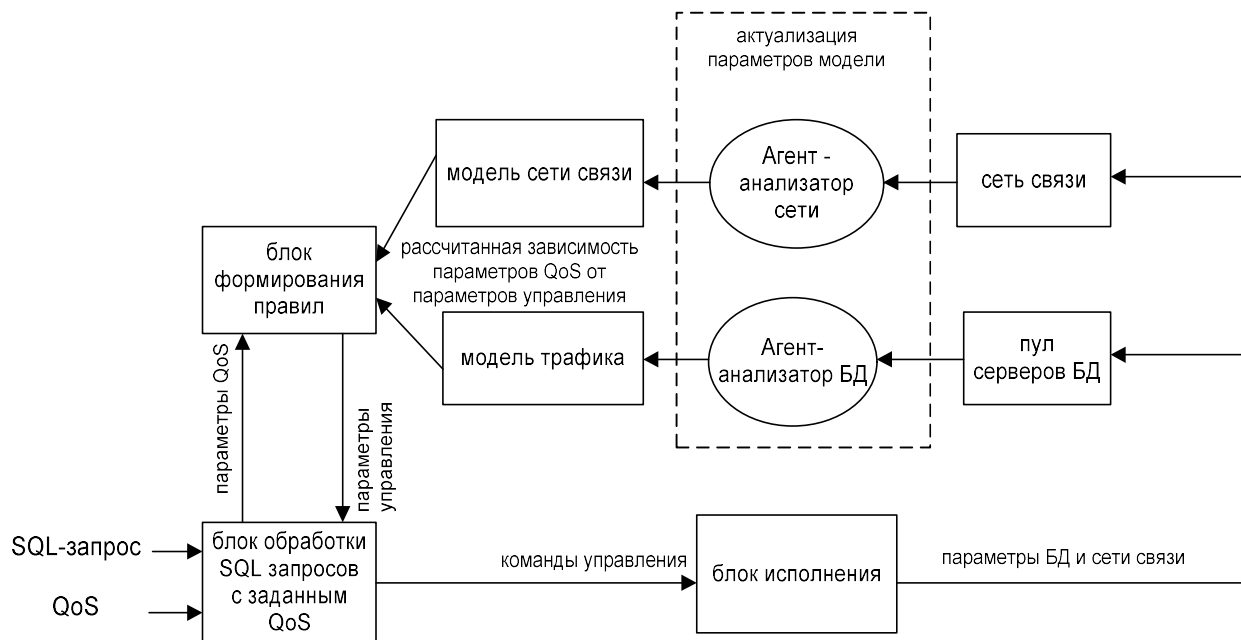


Рис. 4. Последовательность выработки и применения правил выбора параметров управления

Пример формирования правил на основе данных имитационного моделирования (см. табл. 2) представлен на рис. 5. В процессе моделирования варьировался размер пакета TCP-соединения и наличие несвязанных с предоставлением услуги посторонних соединений.

Таблица 2 – Значения оценок параметров качества обслуживания

	С нагрузкой				Без нагрузки			
	сервер 1		сервер 2		сервер 1		сервер 2	
Длина пакета, байт	552	1500	552	1500	552	1500	552	1500
Максимальная задержка, сек	0.1571	0.8087	0.0697	0.1673	0.0574	0.0848	0.0697	0.16736
Максимальная вариация задержки, сек	0.1163	0.7582	0.0264	0.1013	0.0272	0.0386	0.0264	0.10136

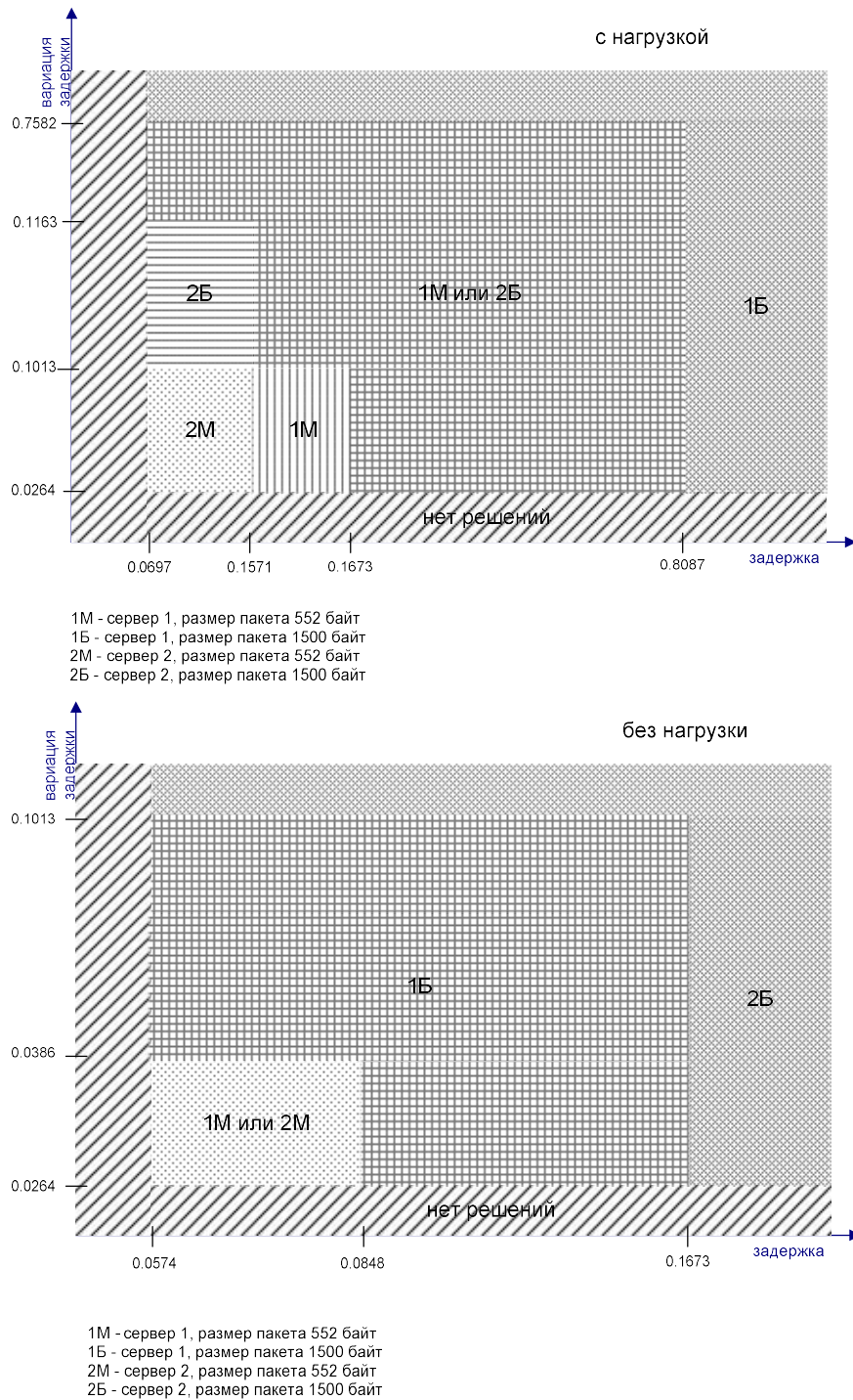


Рис. 5. Формирование правил выбора параметров управления

Выводы

Представленные в статье системотехнические решения демонстрируют возможность мультиагентного управления взаимодействием гетерогенных сетей связи с учетом требований пользователя и состояния сетей связи. В основе предложенного подхода лежит механизм формирования и последующего применения Парето-оптимальных правил, позволяющий адаптироваться к изменяющимся свойствам сетевой инфраструктуры и поведению пользовательских приложений.

Дальнейшая разработка системотехнических принципов и создание средств информационно-логического взаимодействия гетерогенных сетей требует исследования вопросов описания наиболее распространенных услуг (мультимедиа, FTP, email) с помощью онтологий и интеграции агентов на их основе.

Литература

1. Швецов А. Н., Яковлев С. А. Распределенные интеллектуальные информационные системы. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. – 317 с.
2. Таненбаум Э. Компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2003. – 992 с.
3. The Network Simulator Documentation – ns-2. – URL: <http://www.isi.edu/nsam/ns> (дата обращения: 25.03.2023).

References

1. Shvetsov A. N., Yakovlev S. A. *Raspredelelnnye intellektual'nye informacionnye sistemy* [Distributed intelligent information systems]. St. Petersburg, St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" Publ., 2003. 317 p. (in Russian).
2. Tanenbaum E. *Komp'yuternye seti* [Computer networks]. St. Petersburg, Peter Publ., 2003. 992 p. (in Russian).
3. The Network Simulator Documentation. Available at: <http://www.isi.edu/nsam/ns> (accessed 25.03.2023) (in Russian).

Статья поступила 31 марта 2023 г.

Информация об авторах

Раков Игорь Васильевич – Кандидат технических наук. Заместитель генерального директора – директор научно-технического центра. Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Область научных интересов: проектирование интегрированных мультисервисных сетей конфиденциальной связи. Тел.: +7(812)542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Титов Григорий Сергеевич – Начальник отдела. ПАО «Интелтех». Область научных интересов: разработка программных комплексов информационной поддержки служебной деятельности. Тел.: +7(812)542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Талагаев Владимир Иванович – Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, профессор Академии военных наук. Ведущий научный сотрудник. ПАО «Интелтех». Область научных интересов: системный анализ и проектирование. Тел.: +7(812) 448-96-50. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Sistemotekhnichesky decisions on interaction of heterogeneous communication networks on the basis of multiagentny technologies of management

I. V. Rakov, G. S. Titov, V. I. Talagaev

Abstract: *The article sets the task of analyzing the structure of modern telecommunication networks in order to identify a number of system tasks of organizing the interaction of heterogeneous communication networks: descriptions of interacting communication networks; evaluation of current values of communication network indicators; evaluation of resources necessary for the provision of services; selection of service management parameters; management of communication network indicators based on selected parameter values. It is proposed to use multi-agent technologies as **methods** for solving these problems. **Result:** based on the goals of interaction, the main necessary types of agents of network and terminal equipment are determined. Some of them use existing network management software. The rest are newly developed software interacting entities, which determines the **novelty** of the study. **The practical significance** lies in the fact that the verification of the methodology was carried out on an experimental sample of interacting heterogeneous communication networks, in which it was necessary to provide the task of obtaining data from a pool of equivalent database servers. The system engineering solutions presented in the article demonstrate the possibility of multi-agent control of the interaction of heterogeneous communication networks, taking into account the requirements of the user and the state of communication networks. The proposed approach is based on a mechanism for the formation and subsequent application of Pareto-optimal rules, which allows adapting to the changing properties of the network infrastructure and the behavior of user applications. Further development of system-technical principles and creation of means of information-logical interaction of heterogeneous networks requires research on the description of the most common services (multimedia, FTP, email) using ontologies and integration of agents based on them.*

Keywords: *heterogeneous communication network, intelligent components, interface, information and logical interaction, multi-agent technology, network management protocol, network management.*

Information about Authors

Igor Vasilyevich Rakov – Ph.D. of Engineering Sciences. Deputy General Director – Director of the Scientific and Technical Center. Public Joint Stock Company "Intormational Telecommunication Technologies" (PJSC "Inteltech"). Research interests: design of integrated multiservice confidential communication networks. Tel.: +7(812)542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Titov Grigory Sergeevich – Head of the department. PJSC "Inteltech". Research interests: development of software systems for information support of official activities. Tel.: +7(812)542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru

Talagaev Vladimir Ivanovich – Ph.D. of Engineering Sciences. Senior Research Officer. Professor of the Academy of Military Sciences. Leading researcher. PJSC "Inteltech". Research interests: system analysis and design. Tel.: +7(812) 448-96-50. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya str., 8.

Для цитирования: Раков И. В., Титов Г. С., Талагаев В. И. Системотехнические решения по взаимодействию гетерогенных сетей связи на основе мультиагентных технологий управления // Техника средств связи. 2023. № 2 (162). С. 48-55. DOI:10.24412/2782-2141-2023-2-48-55.

For citation: Rakov I. V., Titov G. S., Talagaev V. I. Sistemotekhnichesky decisions on interaction of heterogeneous communication networks on the basis of multiagentny technologies of management // Means of Communication Equipment. 2023. No. 2 (162). Pp. 48-55. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-2-48-55 (in Russian).

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ.
СБОР, ХРАНЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

УДК 004.912

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-2-56-62

Повышение качества извлекаемого текста из двоичных образов документов

Сопин Д. С., Ткачева Е. А., Васильев Н. В.

Аннотация. Постоянный рост объемов информации, необходимой для управления войсками, обуславливает повышение требований к оперативности автоматизированных информационных систем военного назначения. В целях исполнения данных требований, а также своевременного выполнения задач органами военного управления в Министерстве обороны Российской Федерации применяются автоматизированные информационные системы электронного документооборота в защищенном исполнении. Защищенные системы электронного документооборота позволяют обеспечить безопасность, достоверность и целостность информации на всех этапах ее передачи, хранения и обработки. Ввод и формирование электронного документа в защищенных системах электронного документооборота осуществляется посредством процессов сканирования и последующей индексации. Извлеченный из документа текст используется прежде всего при организации поиска и структуризации хранилища документов, которые применяются как в повседневной деятельности, так и при аналитической обработке массивов документов в процессе формирования сводок. Как следствие качество процесса извлечения и индексации документов сказывается в конечном итоге на эффективности и оперативности решения аналитических задач. Основными факторами, снижающими эффективность обработки, являются различного рода пометки, резолюции и выделения в тексте бумажного документа. В современной научной литературе данной теме не уделяется достаточного внимания вопросу удаления графических шумов из сканированного текста и предлагаемая работа призвана восполнить этот пробел. **Целью** статьи является разработка метода повышения качества процесса распознавания образов документов. **Методы исследования:** в работе используется научно-методический аппарат системного анализа, методов обработки изображений и распознавания образов, алгоритмы и методы индексации и поиска документов. **Научная новизна** работы состоит в разработке комплексного подхода к фильтрации графических шумов в образах документов (подписи, печати, пометки). **Практическая значимость** работы заключается в апробации предложенного подхода в защищенной системе электронного документооборота.

Ключевые слова: защищенные системы электронного документооборота, индексация и поиск, оценка качества индексации документов, распознавание документов, фильтрация изображений.

Введение

На современном этапе защищенные системы электронного документооборота (ЗСЭД) представляются как системы, обеспечивающие автоматизацию делопроизводства согласно стандарту ГОСТ Р ИСО 15489-1-2007 «Управление документами» [1-3] с учетом особенностей принятых в Ведомствах приказов-инструкций по секретному делопроизводству и опирающееся на систему стандартов ГОСТ Р 51583-2014 «Автоматизированные системы в защищенном исполнении» [4].

Понятие «электронный документ» подразумевает сложную сущность, состоящую из метаданных (регистрационной карточки) и собственно образа документа. Одним из путей ввода образов документов в ЗСЭД является сканирование. Для обеспечения эффективного полнотекстового поиска после сканирования образа документа производится распознавание и извлечение текста с последующей его индексацией. Как следствие, точность распознавания влияет на качество индекса и корректность результатов поисковых запросов. Основными факторами, снижающими качество поиска, являются различного рода графические шумы:

- печати, содержащие текстовые данные, несущественные для целей поиска;
- подписи и факсимиле;
- резолюции, пометки;
- выделения и подчеркивания текста;
- отображения загибов бумаги, при сканировании бумажного документа;
- плохое качество исходного документа (например, факс).

Шумоподавление направлено на их устранение с наименьшими потерями изображения для улучшения качества извлечения текста путем очистки электронного образа документа от шумов.

Оценка качества распознавания текста

Для достижения поставленных целей исследования прежде всего должно быть формализовано понятие качества процесса распознавания. С точки зрения процесса индексации атомарным объектом, извлекаемым из текста, является лексема. Лексема представляет собой минимальную извлекаемую из текста семантическую единицу. С точки зрения приведенных графических шумов по отношению к изначальному набору лексем возможны следующие ошибки:

- появление лишних лексем из печатей, штампов резолюций;
- искажение существующих лексем;
- отсутствие лексемы вследствие сильного влияния шума.

В качестве примера рассмотрим результаты распознавания фрагмента текста, представленного на рис. 1.

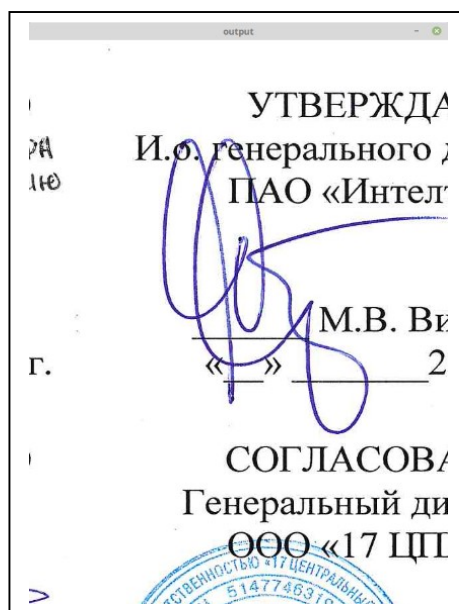


Рис. 1. Фрагмент зашумленного текста

В результате распознавания указанного фрагмента системой Trssect с последующей индексацией Postgresql был получен следующий индекс, рис. 2.

```
{'0': 4, '00': 1, '17цпиис': 1, '2': 2, '2022': 1, '4': 1, '5': 2, '7': 3,
'a': 1, 'ачальник': 1, 'бобр9нению': 1, 'г': 1, 'д': 1, 'е': 1, 'еет': 1,
'ен': 1, 'заместител': 1, 'знеральн': 1, 'зур': 1, 'м': 1, 'мг': 1,
'морф': 1, 'ова': 1, 'огл': 1, 'оо09': 1, 'опорник-пд-17цпиис': 1,
'орф': 1, 'рен': 1, 'с22': 1, 'сд': 1, 'уомананр': 1, 'ы': 1, 'ьник': 1}
```

Рис. 2. Результат распознавания фрагмента зашумленного текста

На основании вышеизложенного можно предложить следующие показатели качества процесса распознавания текста в документах:

1) *Коэффициент ошибок:*

$$a = \frac{C_{error}}{C_{ocr}},$$

где C_{error} – общее количество лексем после распознавания;

C_{ocr} – количество ошибочно распознанных лексем.

Коэффициент ошибок показывает частоту неверно распознанных лексем после распознавания.

2) *Коэффициент точности:*

$$p = \frac{C_{work}}{C_{example}},$$

где C_{work} – общее количество верно распознанных лексем;

$C_{example}$ – общее количество лексем в исходном оригинале.

Коэффициент точности показывает соотношение общего количества лексем в оригинале к общему количеству верно распознанных лексем. Чем выше этот показатель, тем ближе полученный индекс к оригинальному тексту.

3) *Общая эффективность распознавания:*

$$e = \frac{C_{work}}{C_{ocr}},$$

где C_{work} – общее количество верно распознанных лексем;

C_{ocr} – общее количество лексем после распознавания.

Общая эффективность распознавания показывает соотношение общего количества верно распознанных лексем к общему количеству лексем после распознавания. Малые значения данного показателя говорят о том, что среди распознанного текста много ошибочно распознанных лексем, которые отсутствуют в исходном тексте.

Графические методы повышения качества распознаваемого текста и их экспериментальная проверка

Для экспериментальной оценки эмпирически были выбраны следующие методы фильтрации изображений образов документов, которые предположительно могут оказать влияние на качество последующего распознавания:

- извлечение объектов черного цвета (основного текста печатного документа);
- удаление объектов синего цвета;
- изменение градации серого цвета в образе документов.
- масштабирование фрагментов текста.

В процессе исследования был поставлен эксперимент обработки десяти тестовых электронных образов документов с использованием описанных выше способов на изображениях в формате png16m в двух разрешениях 150dpi и 300dpi. Документы сканировались, после чего средствами OpenCV к ним применялся исследуемый фильтр. После этого документы передавались для распознавания в систему Tesseract. Полученный текст проходил загрузку и индексацию как полнотекстовое поле в базу данных PostgreSQL и последующую оценку качества.

В качестве демонстрации рассмотрим подробно процесс исследования фильтра удаления синих объектов из образов. По стандартам ведения документов все подписи и печати должны быть в синих тонах. Поэтому логичным будет попробовать оставить только объекты черного цвета на изображении документа. Очевидно, что эффективность данного

способа будет низкой при работе с ксерокопиями документов или при черно-белом сканировании.

Применение данного подхода к фрагменту, приведенному на рис. 1, показано на рис. 3.

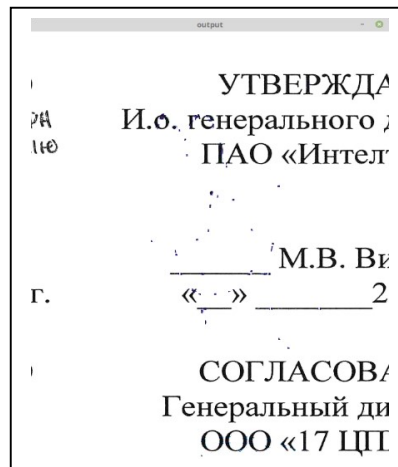


Рис. 3. Результат удаления объектов синего цвета

Были получены следующие ошибочно распознанные, т. е. отсутствующие в исходном документе, лексемы в виде индекса, рис. 4.

{'2022': 1, '992': 1, 'бл': 1, 'вооранен': 1, 'г': 1, 'заместител': 1, 'й': 1, 'моманац': 1, 'н': 1, 'несдион': 1, 'пло': 1, 'ривис': 1, 'генеральн': 1, 'ь': 1}

Рис. 4. Результат распознавания фрагмента без объектов синего цвета

Однако результаты лучше изначальных: коэффициент ошибок составляет 0,15, эффективность распознавания – 0,85 и коэффициент точности – 0,94. При первоначальном коэффициенте ошибок 0,38, эффективности распознавания 0,62 и коэффициенте точности 0,78.

Аналогичные эксперименты были проведены для всех описанных выше фильтров. Результаты представлены на рис. 5 (для разрешения 150dpi) и рис. 6 (для разрешении 300dpi). На графиках представлены средние показатели коэффициентов качества распознавания тестируемых документов.

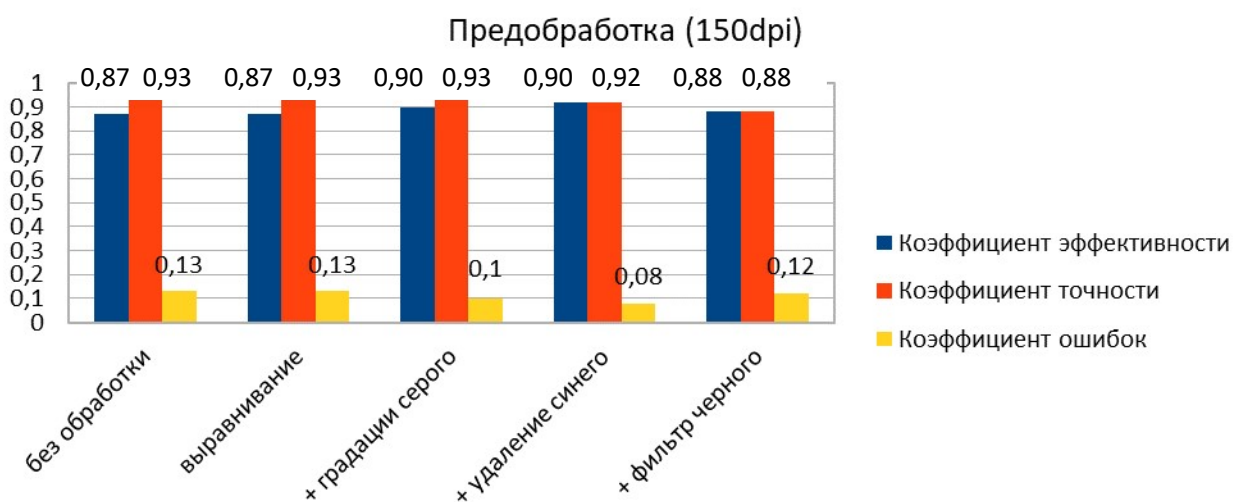


Рис. 5. График результатов исследования фильтров при разрешении 150dpi

На рис. 5 видно, что при разрешении 150dpi наилучшие результаты получаются при переводе картинки в градации серого – увеличивается коэффициент эффективности и снижается коэффициент ошибок.

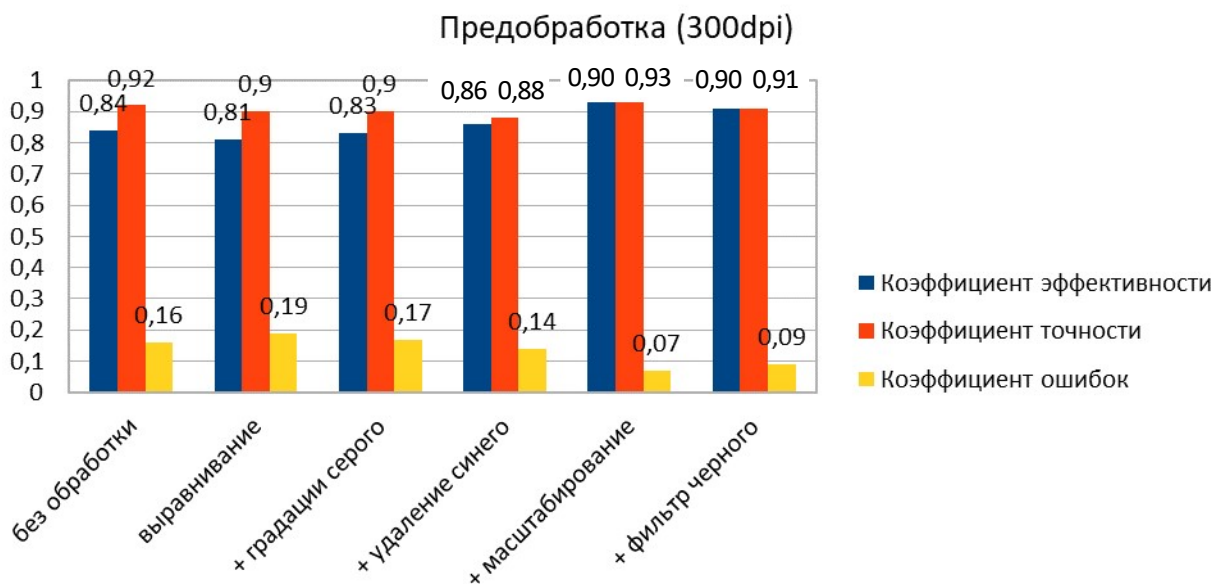


Рис. 6. График результатов исследования фильтров при разрешении 300dpi

Из рис. 6 видно, что при разрешении 300dpi наилучшие результаты получаются при переводе картинки в градации серого, удаления синего и применения масштабирования – увеличиваются коэффициент эффективности и коэффициент точности и значительно снижается коэффициент ошибок.

Заключение

В результате проведенных исследований по обработке разработанным прототипом модуля комплексной фильтрации десяти различных тестовых документов с конвертацией в разные разрешения и форматы изображений можно сделать вывод, что самые высокие показатели качества были получены для форматов изображения png16m в разрешениях 150dpi и 300dpi. Наиболее универсальным методом для различных разрешений является фильтрация градаций серого. Так же при детальном изучении показателей качества, полученных в результате эксперимента, можно отметить, что эффективность того или иного метода фильтрации графических шумов зависит от вида документа, что составляет предмет дальнейших исследований.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 15489-1-2007. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Управление документами. Общие требования. Введ. 2007-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2007. 19 с.
2. Андреева В. И. Делопроизводство. Изд.6-е, перераб. и доп. – М.: ЗАО "Бизнес-школа "Интел-Синтез", 2005.
3. Документы и делопроизводство: Справочное пособие / Т. В. Кузнецова, М. Т. Лихачев, А. Л. Райхцаум, А. В. Соколов / Сост. М. Т. Лихачев. – М.: Экономика, 2005.
4. ГОСТ Р 51583-2014 Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения. Росстандарт, 2014. 14 с.

5. PostgreSQL 10.23 Documentation. The PostgreSQL Global Development Group. Copyright 1996-2022 The PostgreSQL Global Development Group. – URL: <https://postgrespro.com/docs/postgresql/10/functions-textsearch> (дата обращения: 20.04.2023)
6. Directum. Цифровизация процессов и документов. Stafilo31 янв 2020. Реализация поиска печатей на OpenCV без нейронок, регистрации и смс. – URL: <https://habr.com/ru/company/directum/blog/486476> (дата обращения: 20.04.2023)
7. URL: http://mlwiki.org/index.php/Vector_Space_Models (дата обращения: 20.04.2023)
8. URL: <https://pyimagesearch.com/2020/09/07/ocr-a-document-form-or-invoice-with-tesseract-opencv-and-python/> (дата обращения: 20.04.2023)
9. URL: https://docs.opencv.org/3.0.0/d2/d96/tutorial_py_table_of_contents_imgproc.html (дата обращения: 20.04.2023)
10. How to OCR with Tesseract, OpenCV and Python. – URL: <https://nanonets.com/blog/ocr-with-tesseract/> (дата обращения: 20.04.2023)

References

1. GOST R ISO 15489-1-2007. *Sistema standartov po informacii, bibliotechnomu i izdatel'skomu delu. Upravlenie dokumentami. Obshchie trebovaniya* [A system of standards for information, library and publishing. Document management. General requirements]. Introduction. 2007-01-01. Moscow, ИПК Publishing House of Standards, 2007. 19 p. (in Russian).
2. Andreeva V. I. *Deloproizvodstvo* [Office work]. Moscow, CJSC "Business school "Intel-Synthesis" Publ., 2005. (in Russian).
3. Kuznetsova T. V., Likhachev M. T., Reichsaum A. L., Sokolov A.V. *Dokumenty i deloproizvodstvo: Spravochnoe posobie* [Documents and office work: Reference manual]. Moscow, Ekonomika Publ., 2005. (in Russian).
4. GOST R 51583-2014. *Zashchita informacii. Poryadok sozdaniya avtomatizirovannykh sistem v zashchishchennom ispolnenii. Obshchie polozheniya* [Information protection. The procedure for creating automated systems in a protected version. General provisions]. Rosstandart, 2014. 14 p. (in Russian).
5. Available at: <https://postgrespro.com/docs/postgresql/10/functions-textsearch> (accessed 20 april 2023)
6. Available at: <https://habr.com/ru/company/directum/blog/486476> (accessed 20 april 2023) (in Russian)
7. Available at: http://mlwiki.org/index.php/Vector_Space_Models (accessed 20 april 2023)
8. Available at: <https://pyimagesearch.com/2020/09/07/ocr-a-document-form-or-invoice-with-tesseract-opencv-and-python/> (accessed 20 april 2023)
9. Available at: https://docs.opencv.org/3.0.0/d2/d96/tutorial_py_table_of_contents_imgproc.html (accessed 20 april 2023)
10. Available at: <https://nanonets.com/blog/ocr-with-tesseract/> (accessed 20 april 2023)

Статья поступила 26 апреля 2023 г.

Информация об авторах

Сопин Дмитрий Сергеевич – Начальник сектора. Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Область научных интересов: разработка систем электронного документооборота. Тел.: +7(812)448-363-19-26. E-mail: sopinds@inteltech.ru.

Ткачева Екатерина Александровна – Инженер. ПАО «Интелтех». Область научных интересов: разработка систем электронного документооборота. Тел.: +7(812)448-363-19-26. E-mail: Katerina-2007-@inteltech.ru.

Васильев Николай Владимирович – Кандидат технических наук, доцент. Начальник сектора. ПАО «Интелтех». Тел.: +7(812)448-363-19-26. E-mail: vasilievnv@inteltech.ru.

Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д. 8.

Improving the quality of extracted text from binary images of documents

D. S. Sopin, E. A. Tkacheva, N. V. Vasiliev

Annotation. *The constant growth in the volume of information necessary for the management of troops causes an increase in the requirements for the efficiency of automated information systems for military purposes. In order to fulfill these requirements, as well as timely fulfillment of tasks by the military administration bodies, the Ministry of Defense of the Russian Federation uses automated electronic document management information systems in protected execution. Secure electronic document management systems make it possible to ensure the security, reliability and integrity of information at all stages of its transmission, storage and processing. The entry and formation of an electronic document in secure electronic document management systems is carried out through scanning and subsequent indexing processes. The text extracted from the document is used primarily in organizing the search and structuring of the document repository, which are used both in daily activities and in the analytical processing of document arrays in the process of generating summaries. As a consequence, the quality of the document extraction and indexing process ultimately affects the efficiency and efficiency of solving analytical tasks. The main factors that reduce the efficiency of processing are various kinds of marks, resolutions and highlighting in the text of a paper document. In the modern scientific press, this topic is not given sufficient attention to the issue of removing graphic noise from scanned text and the proposed work is designed to fill this gap. **The purpose** of the article is to develop a method to improve the quality of the document image recognition process. **Research methods:** the scientific and methodological apparatus of system analysis, methods of image processing and pattern recognition, algorithms and methods of indexing and document search are used in the work. **The scientific novelty** of the work consists in the development of an integrated approach to filtering graphic noise in the images of documents (signatures, seals, marks). **The practical significance** of the work lies in the approbation of the proposed approach in a secure electronic document management system.*

Keywords: *secure electronic document management systems, indexing and search, document indexing quality assessment, document recognition, image filtering.*

Information about the authors

Sopin Dmitry Sergeevich – Head of the sector. Public Joint Stock Company "Information Telecommunication Technologies" (PJSC "Inteltech"). Research interests: development of electronic document management systems. Tel.: +7(812)448-363-19-26. E-mail: sopinds@inteltech.ru .

Tkacheva Ekaterina Alexandrovna – Engineer. PJSC "Inteltech". Research interests: development of electronic document management systems. Tel.: +7(812)448-363-19-26. E-mail: Katerina-2007-@inteltech.ru.

Vasiliev Nikolay Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. The head of the sector. PJSC "Inteltech". Research interests: development of electronic document management systems. Tel.: +7(812)448-363-19-26. E-mail: vasilievnv@inteltech.ru.

Address: 197342, St. Petersburg, Kantemirovskaya str., 8.

Для цитирования: Сопин Д. С., Ткачева Е. А., Васильев Н. В. Повышение качества извлекаемого текста из двоичных образов документов // Техника средств связи. 2023. № 2 (162). С. 56-62. DOI:1024412/2782-2141-2023-2-56-62.

For citation: Sopin D. S., Tkacheva E. A., Vasiliev N. V. Improving the quality of extracted text from binary images of documents // Means of Communication Equipment. 2023. No. 2 (162). Pp. 56-62. DOI:1024412/2782-2141-2023-2-56-62 (in Russian).

ЭЛЕКТРОННЫЕ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.396.13

DOI:10.24412/2782-2141-2023-2-63-75

Исследование подходов перевода специализированных радиоэлектронных средств для общего применения

Кирик Д. И., Есенбеков Р. М.

Аннотация. Рост и развитие отечественного рынка телекоммуникационного оборудования требуют расширения модельного ряда изделий радиоэлектроники. Для выполнения данного требования, и увеличения доли рынка, занятой предприятиями оборонно-промышленного комплекса, предложен к применению алгоритм перевода специализированных радиоэлектронных средств. **Постановка задачи:** для повышения безопасности важнейших элементов критической информационной инфраструктуры страны, а также выполнения задачи импортозамещения на рынке телекоммуникационного оборудования необходимо увеличивать перечень отечественного телекоммуникационного оборудования. Работа посвящена вопросам исследования вариантов перевода конструктивов специализированных радиоэлектронных средств на конструктивы общего применения в рамках конверсии производства. **Цель работы:** повышение эффективности конверсии специализированных радиоэлектронных средств для их применения в гражданском секторе. **Методы:** для снижения финансовых и временных затрат на разработку и внедрение гражданских радиоэлектронных средств предложен подход к конверсии специализированных систем связи. **Новизна:** предложенного решения состоит в комплексном изменении как конструктива, так и элементной базы технического средства. **К результатам работы** следует отнести создание типового алгоритма конверсии конструктивных элементов специализированных радиоэлектронных средств для конструктивов общего применения, а также вывод формулы оценки эффективности проведения конверсии специализированных радиоэлектронных средств с возможностью её индивидуальной адаптации под конкретный проект. В качестве примера используется порядок перевода источника вторичного электропитания на рынок гражданской продукции в части конструктивных изменений, с последующим расчётом экономической эффективности такого перевода. **Практическая значимость** работы заключается в предложенной структуре перевода специализированных технических средств на рынок гражданской продукции.

Ключевые слова: изделия двойного назначения, импортозамещение, информационная безопасность, телекоммуникационное оборудование.

Введение

Исследование потенциала применения специализированных радиоэлектронных средств (РЭС) в различных сферах народного хозяйства представляет собой важную область научных исследований, поскольку такие технологии могут оказывать влияние как на военно-промышленный комплекс (ВПК), так и на гражданский сектор экономики. Специализированные РЭС (СРЭС) можно отнести к категории изделий двойного назначения, (технические средства и/или технологии, которые могут быть использованы как в коммерческих, так и в военных целях). Несмотря на экономические преимущества таких продуктов, они могут представлять серьезную угрозу национальной безопасности, если попадут в публичное пространство. В связи с этим возникает потребная необходимость разработки подходов к адаптации изделий двойного назначения, чтобы безопасно внедрять передовые технологии в гражданский сектор.

Согласно посланию Президента Федеральному Собранию от 1 декабря 2016 г., одним из направлений деятельности оборонно-промышленного комплекса России (ОПК) является выпуск современной конкурентоспособной гражданской продукции для

высокотехнологичных отраслей (медицины, энергетики, авиации, судостроения, космоса и пр.). К 2025-у году ОПК планируется выпускать около 30 %, к 2030-у не менее 50 % гражданской продукции.

На основании Распоряжения Правительства РФ от 17.01.2020 № 20-р «Об утверждении Стратегии развития электронной промышленности РФ на период до 2030 года», безопасность важнейших элементов критической информационной инфраструктуры РФ должна обеспечиваться за счет разработки и внедрения компонентной базы и изделий электроники российского производства с последующим импортозамещением.

Постановка задачи

Целью исследования является повышение эффективности конверсии специализированных РЭС (R) для их применения в гражданском секторе экономики.

Для этого необходимо разработать эффективный алгоритм преобразования специализированных РЭС из военного назначения в РЭС общего применения.

Конверсия представляет собой процесс преобразования и переориентации оборонного производства и технологий для создания гражданских товаров и услуг.

Для анализа результатов данного исследования необходимо ввести критерий эффективности конверсии изделий двойного применения в изделия общего применения, а также исследовать возможные методы и механизмы повышения эффективности такого перевода.

Разработка алгоритма конверсии

Принцип конверсии заключается в использовании имеющихся ресурсов, компетенций и инфраструктуры, связанных с военным производством, для производства гражданской продукции. Это включает адаптацию производственных мощностей, технологий, научных и инженерных знаний, а также переквалификацию персонала [1].

«Успешная конверсия продукции двойного назначения требует выявления пригодных для конверсии объектов, а также эффективного осуществления конструктивных и технологических изменений, обеспечивающих функциональность и безопасность конвертируемой продукции» [2].

Типовое радиоэлектронное устройство состоит из комплекса корпусных элементов и электронных компонентов. Поскольку специализированные РЭС разрабатываются для непрерывной работы в жёстких условиях эксплуатации, требования к конструкции устройств, а также к работе в условиях агрессивных внешних воздействующих факторов (ВВФ) избыточны для применения в гражданских сферах. К бытовым РЭС применяются более лояльные требования к наработке на отказ, которые должны укладываться в гарантийный период.

При конверсии специализированных устройств для общего применения необходимо обеспечить защиту данных, предотвращение несанкционированного доступа и обеспечение надежной работы в различных условиях эксплуатации [3].

В конструкцию специализированных РЭС заложен большой запас прочности, что излишне удорожает технические средства. Для успешной конверсии изделий необходимо сохранить высокие тактико-технические характеристики и минимизировать себестоимость.

Далее рассмотрим подходы к конструктивным и электронным изменениям, после которых технические средства (ТС) могут быть конкурентноспособными на рынке (рис. 1).

Корпус

Одним из способов упрощения конструкции радиоэлектронных средств является замена материала корпуса. В связи с переходом в менее суровые условия эксплуатации, необходимо уменьшить нагрузку на изделие и корпус. Типовой корпус РЭС представлен на рис. 2.

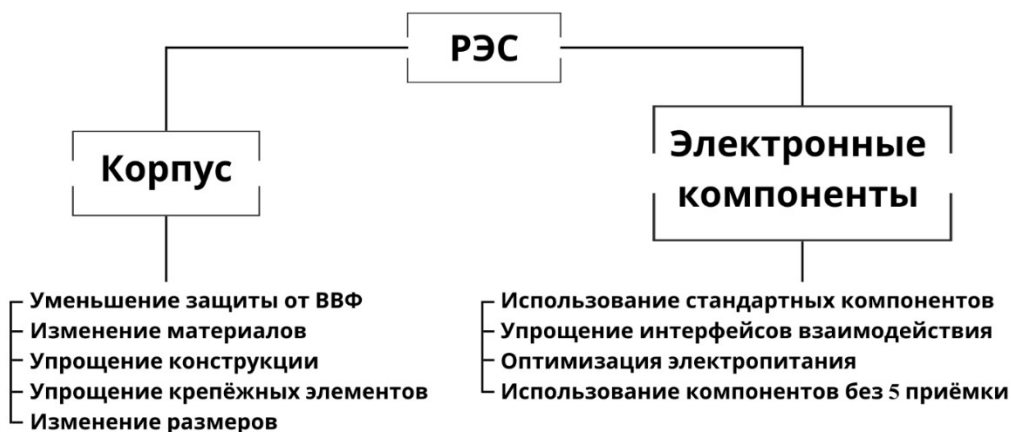


Рис. 1. Комплекс изменений РЭС при конверсии

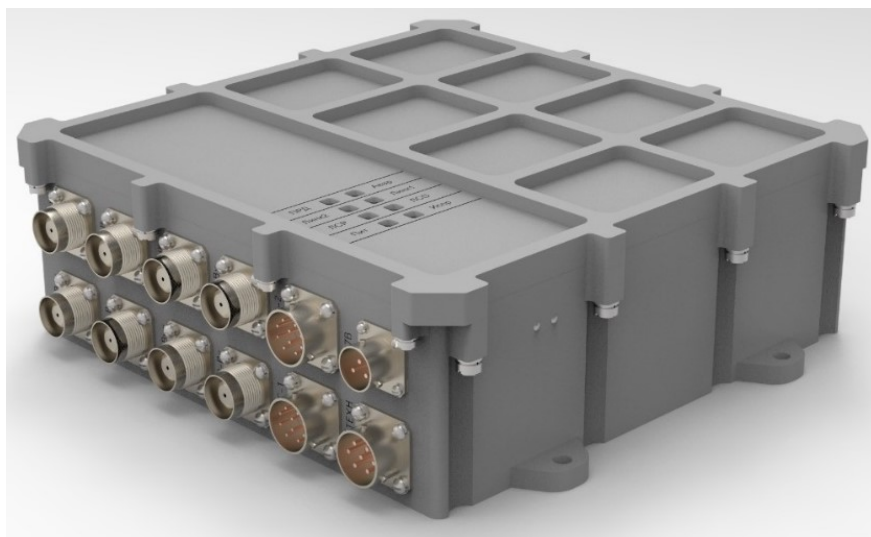


Рис. 2. Типовой корпус РЭС

При конверсии корпуса прибора для обычных условий эксплуатации можно применить следующие упрощения:

- уменьшение защиты от воздействия окружающей среды. Отказ от избыточных защитных покрытий, герметичных уплотнений и других мер для защиты от пыли, влаги, вибраций и ударов;
- изменение материалов. Замена сплавов металлов или специальных полимеров на более доступные и менее дорогие, которые обеспечат достаточную прочность для обычных условий эксплуатации;
- упрощение конструкции. Использовать более простые конструктивные решения для корпуса, чтобы снизить трудоемкость производства и стоимость изделия. Например, отказ от фрезеровки в пользу гибки металла;
- упрощение крепежных элементов. Если корпус прибора для жестких условий имеет множество крепежных элементов, их количество и сложность можно сократить при конверсии;
- изменение размеров. Если прибор для жестких условий был спроектирован с запасом по размерам, чтобы вместить дополнительные защитные элементы, при переводе можно уменьшить размеры корпуса до минимально необходимого для обычных условий эксплуатации.

Снижение затрат на производство дополнительно приведёт к упрощению и удешевлению технологии изготовления изделия.

Элементная база

Важнейшей частью радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) является печатная плата, и электронные компоненты (рис. 3).

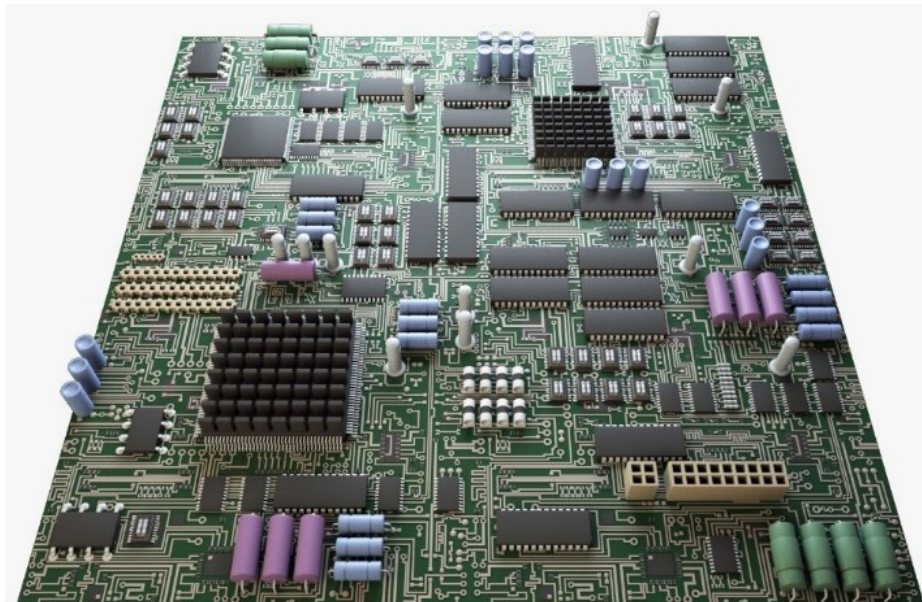


Рис. 3. Печатная плата

При конверсии прибора для обычных условий эксплуатации можно применить следующие упрощения в отношении электронных компонентов и элементной базы:

- использование стандартных компонентов. При конструировании СРЭС для жестких условий эксплуатации применяются компоненты, устойчивые к воздействию окружающей среды, вибрациям, перепадам температуры. Их можно заменить на стандартные. Это снизит себестоимость и упростит замену компонентов при необходимости;
- упрощение интерфейсов и взаимодействия. Прибор, спроектированный для жестких условий, может иметь различные интерфейсы и протоколы связи для работы в экстремальных условиях. При конверсии можно упростить или удалить некоторые из интерфейсов.
- оптимизация электропитания. В приборах для жестких условий эксплуатации обычно применяются дополнительные схемы и элементы для обеспечения стабильного и надежного электропитания. При конверсии можно отказаться от дублирования.
- использование компонентов без 5 приёмки дополнительно удешевляет продукцию, так как для РЭС гражданского применения предъявляются менее жёсткие требования к надёжности.

Формирование алгоритма конверсии изделий двойного применения (ИДП) является сложным и многогранным процессом. Рассмотрим основные этапы формирования механизма конверсии ИДП.

Первый этап – это определение потенциала конверсии.

Проводится анализ существующих военных технологий и материалов с целью выявления их применения в гражданской сфере. Оцениваются технические характеристики, функциональность и перспективы развития ИДП.

Второй этап формирования механизма конверсии ИДП — это идентификация потенциальных гражданских областей применения.

Осуществляется анализ рынка и исследование потребностей гражданских секторов. Идентифицируются области, где военные технологии и материалы могут быть применены для создания новых продуктов или улучшения существующих.

Третий этап формирования механизма конверсии ИДП — это ОКР, НИОКР, включающие следующие подэтапы:

1) техническое исследование: разработка и анализ возможных вариантов механизма конверсии, включая изменение компонентов, коррекцию конструктива или преобразование функциональности;

2) проектирование и разработка: разработка конструкторской документации;

3) тестирование и оценка: проведение испытаний, проверка функциональности, эффективности и безопасности ТС. Анализ результатов испытаний и внесение необходимых корректировок;

Четвертый этап формирования механизма конверсии ИДП — это техническое переоборудование и модернизация производственной инфраструктуры.

Экономический анализ процесса конверсии технического средства

Экономический анализ конверсии РЭС – важная часть исследования, оценивающая финансовые, рыночные и стратегические аспекты процесса перевода.

Для проведения экономического анализа процесса конверсии РЭС, можно использовать различные методы. Один из них — это стоимостной анализ. С помощью этого метода можно определить прогнозируемую прибыльность проекта и его финансовую эффективность [4].

Процесс стоимостного анализа включает несколько шагов:

1) определение затрат на конверсию включает оценку всех затрат, связанных с адаптацией электронного прибора для гражданского рынка.

2) оценка операционных затрат, связанных с производством, продажей и обслуживанием РЭС.

3) прогнозирование доходов.

4) расчет финансовых показателей (срок окупаемости и себестоимость) для оценки рентабельности проекта.

Вывод формулы определения рентабельности конверсии

Критерий эффективности конверсии специализированных РЭС (R) можно сформулировать так: увеличение объема производства и уменьшение себестоимости изделий при сохранении или улучшении их качества, и функциональных характеристик в условиях перехода на гражданский рынок.

Рентабельность конверсии позволяет оценить эффективность и успешность проекта. В данном контексте, рентабельность конверсии можно определить с помощью следующих формул:

$$R = \frac{I - (C_{RD} + C_{RF} + C_P * N + C_A)}{N} \quad (1)$$

$$I = P * N \quad (2)$$

$$C_P = C_M + C_L + C_{ER} + C_{ED} + C_O \quad (3)$$

Рассмотрим каждую переменную:

– R – рентабельность конверсии. Это мера эффективности процесса адаптации продукта или технологии;

- I – доход от продаж. Это общая сумма денег, полученных от продажи конвертированных электронных приборов;
- P – цена продажи 1 шт.;
- C_{RD} (research and development costs) – затраты на исследования и разработки: научные исследования, разработка прототипов, тестирование;
- C_{RF} (refurbishment costs) – затраты на переоборудование сборочной линии: закупка и установка оборудования, обучение персонала;
- C_P (production costs) – затраты на производство: расходы на материалы, оплату труда, энергию, амортизацию оборудования и другие затраты на производство;
- C_A (advertising costs) – рекламные расходы: маркетинговые мероприятия, создание рекламных материалов;
- C_M (material costs) – затраты на сырье и материалы, необходимые для производства РЭС;
- C_L (labor costs) – затраты на трудовые ресурсы, т. е. на оплату труда работников;
- C_{ER} (energy and resource costs) – затраты на энергию и ресурсы: стоимость электроэнергии, водоснабжения, топлива;
- C_{ED} (equipment depreciation) – амортизация оборудования: учёт стоимости оборудования и его износа на протяжении времени;
- C_O (other operational expenses) – другие операционные расходы, которые не относятся к конкретным категориям;
- N – количество проданных приборов – это количество РЭС, реализованных на рынке за период времени.

Важно отметить, что эта формула представляет общий подход к определению рентабельности конверсии электронного прибора. Фактическая оценка и использование этой формулы должны учитывать специфические факторы, уникальные характеристики и требования проекта. Таким образом в формулу для каждого отдельного случая могут быть интегрированы дополнительные переменные.

Анализ реализации работоспособности разработанного алгоритма на примере источника вторичного питания

Устройство-предшественник предназначено для обеспечения электроэнергией различных блоков, установленных в 19-ти дюймовой стойке. Источник вторичного питания (ИВП) оснащён электрическими соединителями типа 2РМТ. Из них одна розетка имеет входной интерфейс с напряжением 220 В, и 7 вилок с выходным напряжением 27 В. Выходная мощность – 1200 Вт.

Ранее разработанное устройство (габаритный чертёж на рис. 4) имеет существенные недостатки: большие размеры, масса и дороговизна производства. При встраивании в 19-ти дюймовую стойку ИВП будет занимать 4 U, поскольку для поддержания рабочей температуры источника питания над ним необходимо предусмотреть зазор в 1 U, либо установить дополнительный модуль с вентилятором.

Корпус блока питания состоит из двух деталей: корпуса и крышки-радиатора. Детали выполнены из сплава алюминия Д16, изготавливаются методом фрезерования из плит-заготовок толщиной 70 и 55 мм. Такой способ формообразования имеет ряд существенных недостатков:

- 1) дороговизна производства;
- 2) большой объём выборки материала заготовки;
- 3) большие временные затраты.

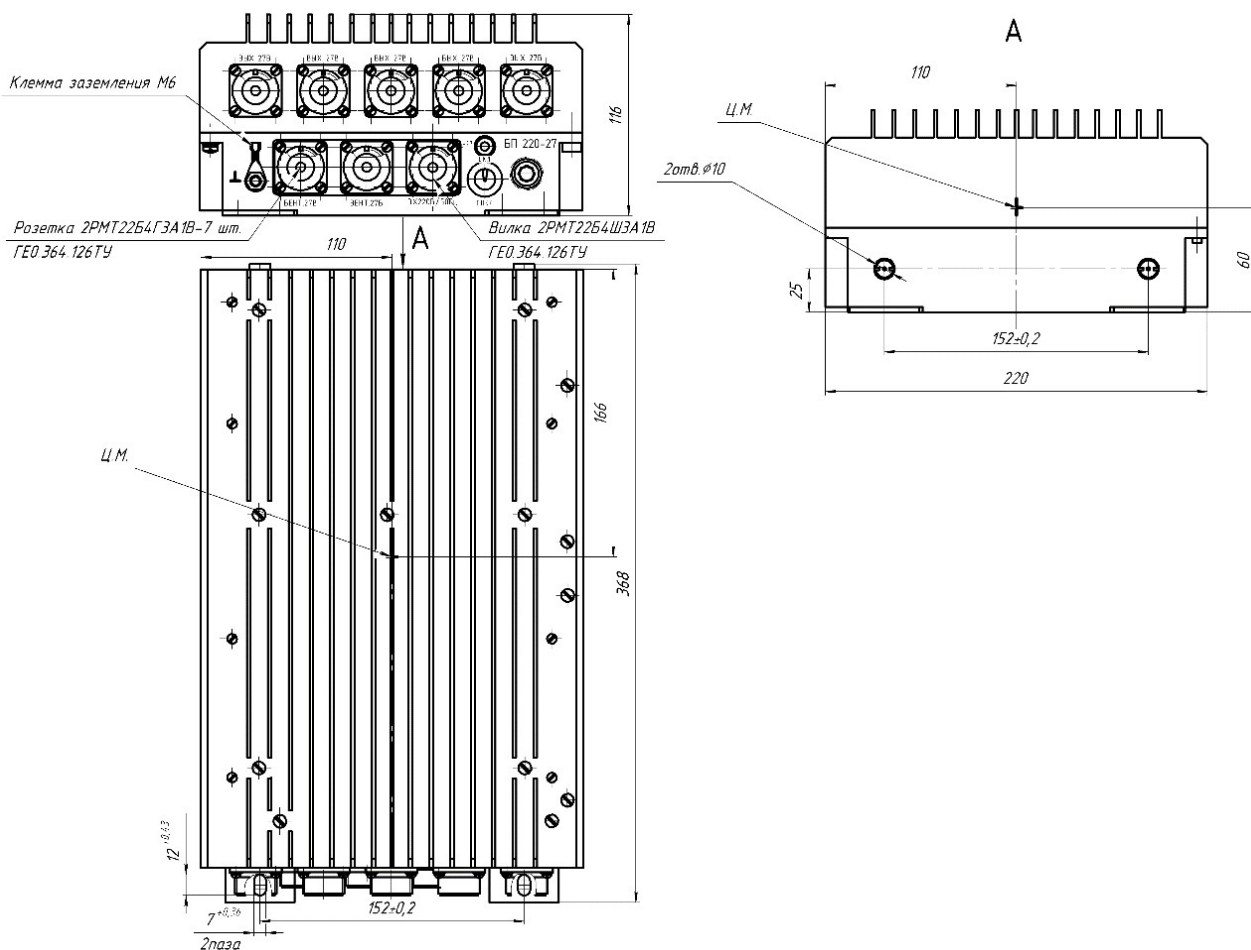


Рис. 4. Габаритный чертёж существующего ИВП

Разработка новой конструкции корпуса блока питания с учетом рациональной компоновки и использования более доступных, и менее ресурсозатратных технологий производства позволит адаптировать ТС для гражданского рынка.

Конструктивные изменения

Корпус разработанного устройства представляет собой коробчатую конструкцию, имеющую форму прямоугольного параллелепипеда. Корпус выполнен из тонколистового металла, толщиной 1,5 мм. В корпусе предусмотрены отверстия и посадочные места для установки других компонентов, входящих в сборку источника вторичного питания.

В качестве материала изготовления корпусных деталей был выбран лист стали марки 08X18N10T ГОСТ 5632-72 толщиной 1,5 мм. Сталь коррозионностойкая жаропрочная применяется в производстве различных изделий: от теплообменников до аппаратуры со сварным корпусом.

Выбор этого типа стали обусловлен её высокой коррозионной стойкостью, прочностью и хорошей свариваемостью. Вышеперечисленные характеристики позволяют обеспечить требуемый срок службы.

Компоновка устройства

На лицевой панели устройства (рис. 5) размещены элементы, необходимые для взаимодействия оператора с блоком питания: две кнопки включения с индикатором, два держателя предохранителя, ручки для установки и демонтажа. Каждый элемент выполняет определённую функцию, заложенную при проектировании.

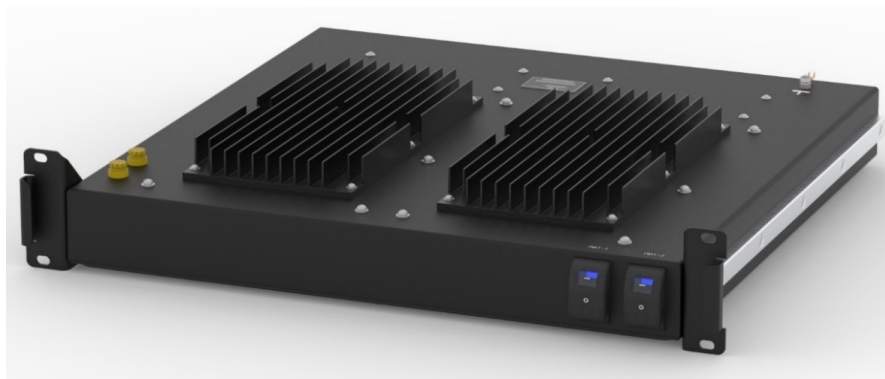


Рис. 5. Блок питания, вид на лицевую панель

Электрические соединители размещены на задней стенке корпуса блока питания (рис. 6). Такое расположение обусловлено тем, что в 19-ти дюймовых стойках кабель-каналы с кабелями и жгутами находятся на задней или боковых стенках. Благодаря такому расположению соединителей и продуманной внутренней компоновке удалось добиться минимальной длины жгутов, проложенных в модуле питания.



Рис. 6. Блок питания, вид на заднюю панель

Несмотря на плотную компоновку (рис. 7), размещение соединителей выполнено с учетом эргономики, поскольку расположение в шахматном порядке позволяет легко отсоединить кабельную часть соединителя от блочной при монтаже/демонтаже модуля.

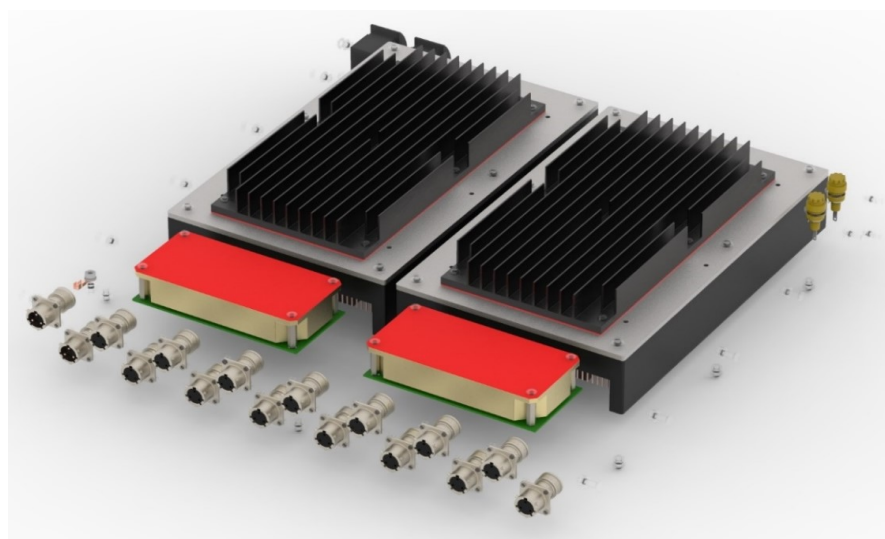


Рис. 7. Внутренняя компоновка устройства, вид сверху

Выбранная компоновка (рис. 8) обеспечивает минимальные габаритные размеры устройства и рациональное использование внутреннего пространства корпуса.

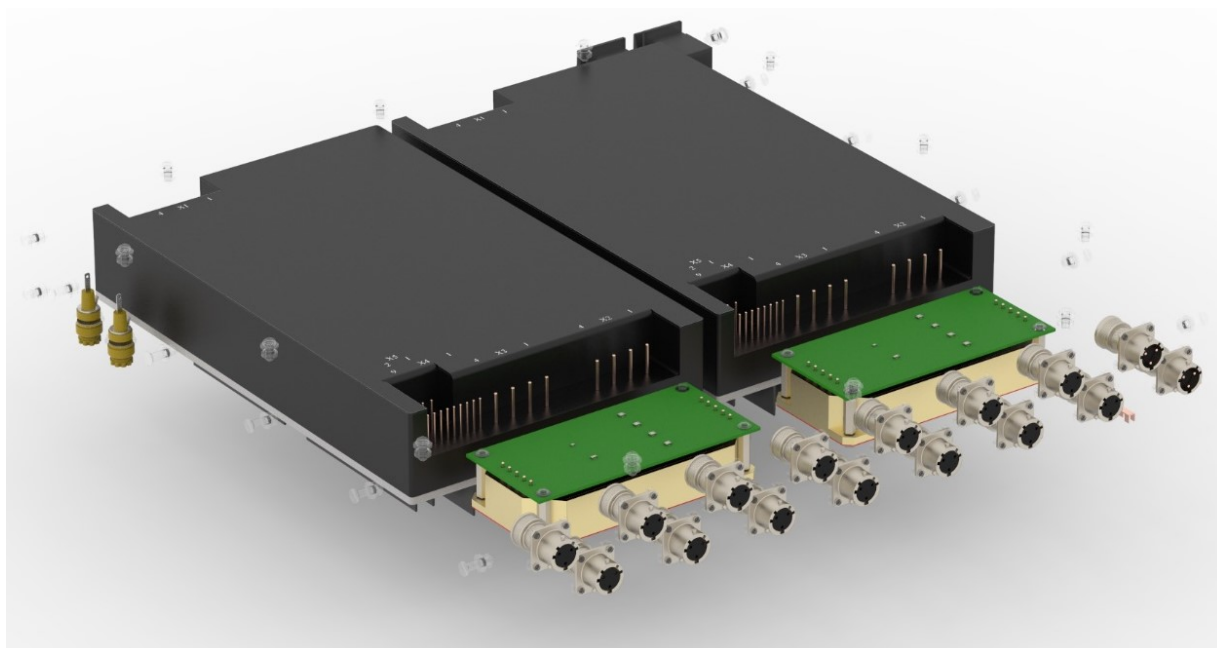


Рис. 8. Компоновка устройства, вид снизу

Последовательное размещение компонентов внутри корпуса позволяет добиться минимальной длины кабелей, что упрощает сборку и удешевляет устройство.

Важно отметить, разработанный ИВП имеет высоту 2 U (88,9 мм), однако высота корпусной детали без учета радиаторов 55 мм. Конструкцией корпуса ИВП обеспечен необходимый для прохождения воздушных охлаждающих потоков зазор между греющимися частями ИВП и вышестоящими в стойке блоками.

При этом установка ранее исходного ИВП требовала размещения над ИВП дефлектора или дополнительного воздушного зазора высотой минимум 1 U, как в случае естественной приточно-вытяжной вентиляции, так и в случаях применения принудительной вентиляции. Для размещения и нормального функционирования нового разработанного ИВП необходимо занять в стойке пространство высотой 2 U, а не 4 U – как было в случае образца-предшественника.

Расчёт экономической целесообразности

Стоимость производства двух корпусных деталей для изделия-предшественника составляет 128000 руб. В эту сумму уже заложена стоимость подготовки производства, разработка технологической карты.

Стоимость производства двух корпусных и четырёх крепёжных деталей для разработанного ИВП приведена в табл. 1. Цены актуальны при заказе партии из 100 единиц

Таблица 1 – Стоимость изготовления корпусных деталей в ООО «Токарные Технологии».

Наименование	Цена	Количество
Корпус	10.000,00 руб.	1
Крышка	1.500,00 руб.	1
Держатель	1.000,00 руб.	2
Направляющая	500,00 руб.	2
Итого:	14.500,00 руб.	

В табл. 2 приведена стоимость использованных электронных компонентов. Данное коммерческое предложение действительно при заказе от 100 единиц.

Таблица 2 – Стоимость электронных компонентов производителя ООО «Александр Электрик»

Тип изделия	Цена за 2 шт. без НДС	Сроки поставки, недель
МАО1200-1С27-СТН	41.622,10 руб.	10
МРР3-С15АМУ	7.942,34 руб.	8

Таким образом, при производстве партии из 100 ИБП, финансовая выгода от использования разработанного корпуса составит 113500 руб. Средняя стоимость аналогичного источника питания на гражданском рынке составляет 73279,36 руб.

Воспользуемся формулами (1) – (3) для оценки эффективности проведённой конверсии РЭС. Результаты расчётов представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Оценка эффективности конверсии ИБП

Переменная	Значения					Единицы измерения
	1	2	3	4	5	
R	-11.364,44	-2.417,88	1.675,56	4.995,12	6.838,34	руб.
N	100	300	500	1.000	1.500	шт.
I	7.000.000	21.000.000	35.000.000	70.000.000	105.000.000	руб.
C_{RD}	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	руб.
C_{RF}	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	руб.
C_P	75.864,44	70.484,55	67.124,44	64.384,88	62.728,33	руб.
C_A	50.000	80.000	100.000	120.000	150.000	руб.
P	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	руб.
C_M	62.564,44	61.184,55	58.624,44	56.484,88	55.028,33	руб.
C_L	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	руб.
C_{ER}	800	800	800	800	800	руб.
C_{ED}	6.000	2.000	1.200	600	400	руб.
C_O	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	руб.

Для дальнейшего анализа полученных данных построим график зависимости эффективности конверсии СРЭС от количества реализованных единиц (рис. 9) в программном обеспечении (ПО) MATLAB:

Далее найдём значение функции, при $R = 0$, т. е. момент начала окупаемости процесса конверсии ИБП. Для этого аппроксимируем значения точек полиномом 4-й степени (рис. 10), получим формулу (4). Найдём значение полинома при $R = 0$.

$$f(R) = 1,794 * 10^{-14} * R^4 + 8,4247 * 10^{-10} * R^3 + 9,6812 * 10^{-6} * R^2 + 0,0523 * R + 381,1121 \quad (4)$$

$$f(0) = 381,1121 \quad (5)$$

На основании полученных данных можем сделать вывод, что при производстве партии, состоящее более чем из 382 ИБП, предприятие начинает получать прибыль. Следовательно конверсия специализированного радиоэлектронного средства прошла успешно.

Стоимость разработанного устройства варьируется от 75864,44 руб. до 62728,33 руб. При производстве партии из 1500 ИБП, стоимость изделия на 17,32 % дешевле изделий-аналогов.

Следует отметить, что при повышении объёма производства, стоимость изготовления прибора существенно снижается, и как следствие – эффективность конверсии растёт.

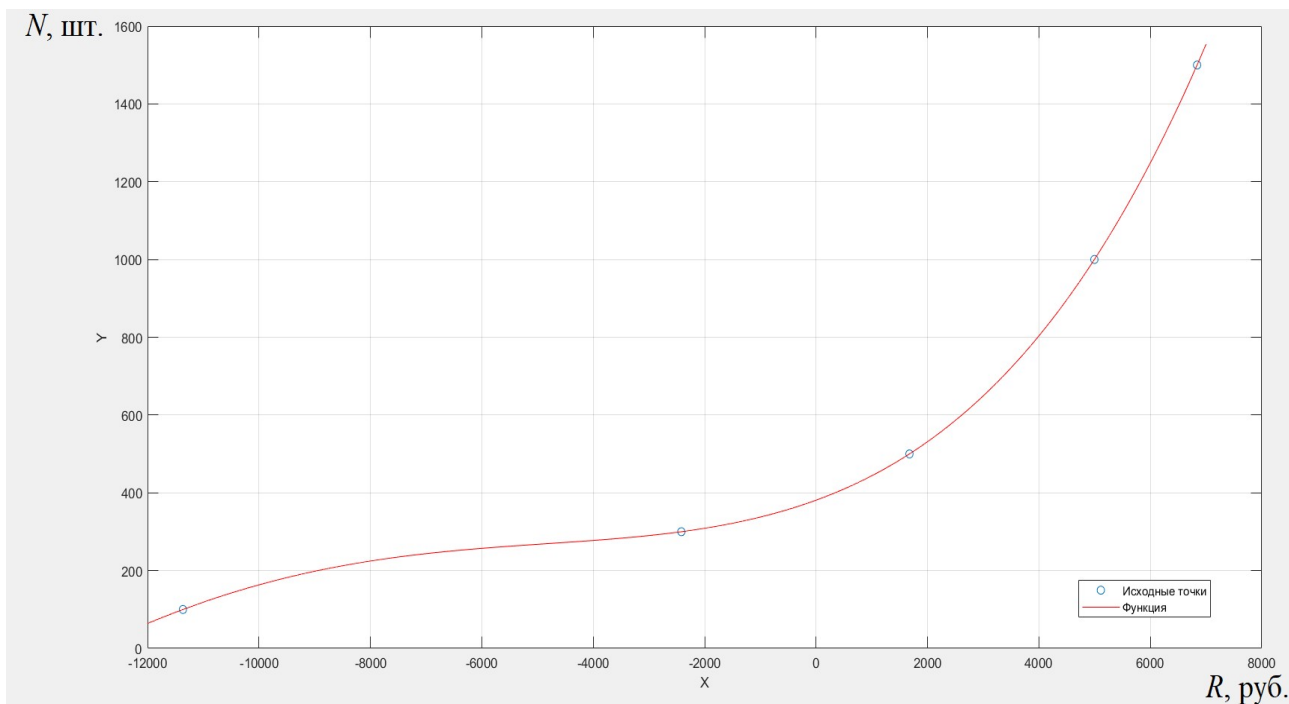


Рис. 9. График зависимости эффективности конверсии СРЭС от количества реализованных единиц

	1	2	3	4	5
1	1.7940e-14	8.4247e-10	9.6812e-06	0.0523	381.1121

Рис. 10. Значения формулы (4)

Заключение

В рамках работы создан с нуля алгоритм конверсии специализированных РЭС для общего применения. Для оценки эффективности алгоритма выведена формула определения рентабельности конверсии. Алгоритм конверсии апробирован на примере реального устройства.

Достоинства алгоритма:

- универсальность;
- охват всего производственного цикла;
- прозрачность расчётов.

Эти достоинства делают разработанный алгоритм конверсии привлекательным средством для предприятия, которое стремится увеличить свою долю на рынке.

Применение предложенного алгоритма повысит эффективность преобразования специализированных РЭС для применения в гражданском секторе. Таким образом, цель работы достигнута.

Перспективы дальнейших разработок:

- подготовка патента на методику оценки экономической выгоды конверсии;
- разработка программы для автоматического расчёта.

Таким образом, разработанный алгоритм конверсии и его дальнейшее развитие имеют большой потенциал для применения в практических целях и могут существенно влиять на повышение эффективности и доли рынка предприятия.

Литература

1. Gilli M., Gilli M. Conversion as a Pathway to Sustainable Peace and Development: A Case Study of Military Conversion in Kazakhstan. In Conflict, Security and Development. 2020. Pp. 165-190.
2. Галкин В. А. Конверсия технологий двойного назначения: анализ и перспективы // Журнал исследований глобальной безопасности. 2017. Т. 2. С. 55-76.
3. Harris G., & Walker L. Future Trends and Innovations in the Conversion of Specialized Electronic Devices // Материалы Международной конференции по передовой электронной инженерии, 2017. С. 335-342.
4. McKinsey & Company: Corporate Finance and Strategy – Cost Analysis [электронный ресурс] URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/cost-analysis> (дата обращения: 16.03.2023).

References

1. Gilli, M., Gilli, M. Conversion as a Pathway to Sustainable Peace and Development: A Case Study of Military Conversion in Kazakhstan. In Conflict, Security and Development. 2020. Pp. 165-190.
2. Galkin, V. A. Conversion of dual-use technologies: analysis and prospects. Journal of Global Security Studies. 2017. V. 2. Pp. 55-76. (in Russian).
3. Harris G., & Walker L. Future Trends and Innovations in the Conversion of Specialized Electronic Devices. Proceedings of the International Conference on Advanced Electronics Engineering. 2017. Pp. 335-342.
4. McKinsey & Company: Corporate Finance and Strategy – Cost Analysis [electronic resource] Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/cost-analysis> (accessed 16 March 2023) (in Russian).

Статья поступила 24 июня 2023 г.

Информация об авторах

Кирик Дмитрий Игоревич – Кандидат технических наук. Декан факультета радиотехнологий связи, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронных средств. Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. профессора М.А. Бонч-Бруевича. Область научных интересов: проектирование радиотехнических систем, обработка сигналов, цифровые активные фазированные антенные решетки. Тел.: +7(812)305-12-40. E-mail: kirik.di@sut.ru.

Адрес: Россия, 1933232, г. Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22, корп. 1.

Есенбеков Рустем Муратович – Инженер-конструктор. Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии». Область научных интересов: конструирование и разработка автоматизированных систем специального назначения, подвижные комплексы связи. Тел.: +7(812) 448-96-46. E-mail: cool.baseball2012@yandex.ru.

Адрес: Россия, 195380, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская д. 8.

The Research of Conversion Options for Specialized Radio Electronic Devices for General Applications

D. I. Kirik, R. M. Esenbekov

Annotation. *The growth and development of the domestic telecommunications equipment market require the expansion of the range of radio electronics products. To fulfill this requirement and increase the market share occupied by enterprises of the military-industrial complex, an algorithm for the transfer of specialized radio-electronic means is proposed for use. **Statement of the problem:** in order to increase the security of the most important elements of the country's critical information infrastructure, as well as to fulfill the task of import substitution in the telecommunications equipment market, it is necessary to increase the list of domestic telecommunications equipment. The work is devoted to the study of options for transferring the constructs of specialized radio-electronic means to constructs of general use as part of the conversion of production. **The purpose of the work:** to increase the efficiency of the conversion of specialized radio-electronic means for their use in the civilian sector. **Methods:** to reduce the financial and time costs for the development and implementation of civil electronic means, an approach to the conversion of specialized communication systems is proposed. **Novelty:** the proposed solution consists in a complex change in both the design and the element base of the technical means. **The results of the work** include the creation of a typical algorithm for the conversion of structural elements of specialized radio-electronic means for general-purpose constructs, as well as the derivation of a formula for evaluating the effectiveness of the conversion of specialized radio-electronic means with the possibility of its individual adaptation for a specific project. As an example, the procedure for transferring a secondary power source to the civil products market in terms of design changes is used, with the subsequent calculation of the economic efficiency of such a transfer. The practical significance of the work lies in the proposed structure for the transfer of specialized technical means to the civilian product market.*

Key words: *conversion, conversion algorithm, dual-use technologies, effectiveness evaluation, radio electronic systems.*

Information about Authors

Kirik Dmitry Igorevich – PhD, Dean of the Faculty of Radiotechnologies of Communication, Head of the Department of Designing and Production Radioelectronic Means. The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications. Research interests: radiotechnologies systems, signal processing, digital active phased array antennas. Tel.: +7(812)305-12-40. E-mail: kirik.di@sut.ru.

Address: Russia, 193232, St. Petersburg, Bolshevnikov Ave., 22, bldg. 1.

Esenbekov Rustem Muratovich – Design engineer of PJSC "Inteltech". Research interests: design and development of automated systems for special purposes, mobile communication systems Tel.: +7(812)448-96-46. E-mail: cool.baseball2012@yandex.ru.

Address: Russia, 195380, St. Petersburg, st. Kantemirovskaya 8.

Для цитирования: Кирик Д. И., Есенбеков Р. М. Исследование подходов перевода специализированных радиоэлектронных средств для общего применения // Техника средств связи. 2023. № 2 (162). С. 63-75. DOI:10.24412/2782-2141-2023-2-63-75.

For citation: Kirik D. I., Esenbekov R. M. The Research of Conversion Options for Specialized Radio Electronic Devices for General Applications // Means of Communication Equipment. 2023. No. 2 (162). Pp. 63-75. DOI:10.24412/2782-2141-2023-2-63-75 (in Russian).

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 62-77

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-2-76-85

Математическая модель оценки достоверности автоматического контроля

Шалаева М. Е., Баринов М. А.

Аннотация. Постановка задачи: отсутствует стандартизированная математическая модель, позволяющая провести оценку достоверности автоматического контроля изделия, которая учитывала бы отказы как аппаратной части объекта и аппаратуры контроля, так и ошибки программного обеспечения. Существующие модели, описанные в доступных для анализа источниках, предназначены для оценки показателей достоверности измерительного (параметрического) и автоматизированного контроля. **Целью работы** является проведение анализа существующих математических моделей для оценки контроля, а также построение на их основе модели, позволяющей провести оценку достоверности автоматического контроля. **Используемые методы:** анализ научных статей, монографий, известных стандартизованных математических моделей, а также других первоисточников, содержащих информацию о показателях достоверности разных видов контроля. **Новизна:** состоит в том, что в предлагаемой модели были учтены параметры аппаратуры контроля, осуществляющей автоматический контроль. Кроме того, оценка достоверности контроля осуществляется не через показатели качества (в частности, через показатели надежности), а через безошибочность информации, как конечного «продукта», передаваемого по каналам связи. **Результат:** заключается в том, что была предложена математическая модель для оценки достоверности автоматического контроля с учетом отказов аппаратной части объекта и аппаратуры контроля, а также ошибок программного обеспечения. **Практическая значимость:** предложенная модель может быть применена при выполнении опытно-конструкторских работ на предприятии ПАО «Интелтех» и, в дальнейшем, стандартизирована для использования на других предприятиях.

Ключевые слова: измерительный контроль, автоматизированный контроль, автоматический контроль, достоверность, ошибки первого и второго рода.

Введение

В соответствии с ГОСТ РВ 0020-39.309-19 и ГОСТ 20911-89 показатели достоверности контроля технического состояния (условные вероятности ложного и необнаруженного отказа при контроле технического состояния) относятся к показателям метрологического и диагностического обеспечения аппаратуры. Методики оценки достоверности контроля представлены в РД В 319.01.13-99, ОТГ 1.2.7-89 и предназначены только для аппаратуры с применением измерительного контроля параметров. Анализ библиографии доступных для обзора технических библиотек показал, что руководящие документы подобного рода для оценки достоверности автоматического контроля не известны. При том, что современные технические средства на данный момент в подавляющем большинстве имеют системы автоматического контроля, а в ГОСТ РВ 0020-39.309-19 содержатся требования о необходимости включения в состав автоматизированной системы измерений и контроля программных и (или) аппаратных средств самоконтроля и самодиагностики, обеспечивающих заданный уровень достоверности контроля аппаратуры.

Таким образом, *целью статьи* является обоснование методики оценки достоверности автоматического контроля, для чего в данной статье был проведен обзор существующих методов и подходов к оценке достоверности автоматического контроля, а также на их основе предложена математическая модель для оценки достоверности с учетом отказов аппаратной части объекта контроля (ОК) и аппаратуры контроля (АК), а также с учетом ошибок программного обеспечения.

1. Анализ методик оценки достоверности контроля

1.1. Показатели контроля

Согласно ГОСТ РВ 0101-001-2007 одной из задач технического диагностирования является контроль технического состояния, который заключается в определении фактических значений показателей и/или качественных признаков, характеризующих техническое состояние изделия, а также в оценке посредством их сопоставления с требованиями, содержащимися в эксплуатационной или ремонтной документации.

Наиболее распространенный вариант контроля – дуальтернативный, при котором рассматриваемый ОК находится в одном из двух состояний – «исправен» или «неисправен» и, соответственно, возможны два варианта диагноза – «годен» или «негоден». Модель формирования правильного диагноза при дуальтернативном контроле представлена на рис. 1.

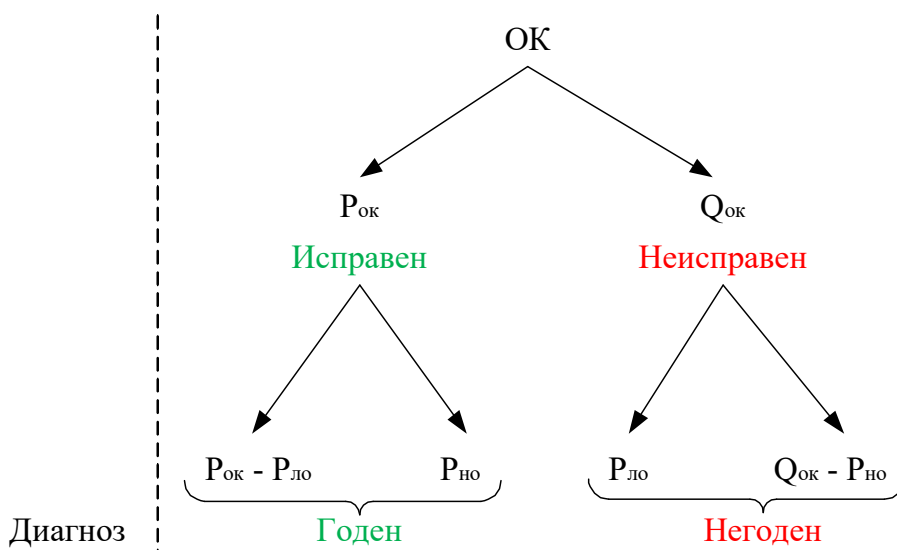


Рис. 1. Модель формирования правильного диагноза при дуальтернативном контроле

Вероятность того, что ОК находится в состоянии «исправен», обозначается как $P_{ок}$, вероятность состояния «неисправен» в таком случае – $Q_{ок} = 1 - P_{ок}$, то есть эти два состояния представляют полную группу событий, и сумма их вероятностей равна 1.

При вынесении диагноза может произойти один из четырех вариантов развития событий, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Варианты комбинаций состояний объекта контроля и диагнозов

№	Состояние объекта контроля	Диагноз
1	исправен	годен
2	исправен	не годен
3	неисправен	годен
4	неисправен	не годен

Первый и четвертый случаи представляют собой верные диагнозы. Вторым и третьим вариантам соответствуют ситуации, когда АК выносит неверный диагноз. Случай № 2 является ложным отказом, вероятность появления которого – $P_{ло}$ (ошибка первого рода), случай № 3 – необнаруженный отказ с вероятностью $P_{но}$ (ошибка второго рода).

Вероятности ложного и необнаруженного отказов для измерительного, автоматизированного и автоматического контроля определяются с помощью разных математических аппаратов.

1.2. Измерительный контроль

Согласно ГОСТ 16504-81 измерительным является контроль, который осуществляется с применением средств измерений. Методика оценки достоверности такого контроля изложена в РД В 319.01.13-99.

Определяется значение суммарной погрешности измерений параметра Δ_{Σ} в соответствии с Приложением Е РД В 319.01.13-99.

Вероятности ложного и необнаруженного отказов определяются по графикам Приложения Ж РД В 319.01.13-99, для чего:

- вычисляются значения отношения $|\delta_n| / \sigma_x$ (где δ_n – допускаемое отклонение для контролируемого параметра; σ_x – среднее квадратическое отклонение параметра x), и на соответствующих графиках по оси абсцисс откладываются точки, через которые проводятся прямые, параллельные осям ординат, до пересечения с кривыми, соответствующими значению $R = |\Delta_{\Sigma}| / |\delta_n|$ (где δ_n – наименьшее допускаемое отклонение характеристики);
- через полученные точки строятся прямые, параллельные оси абсцисс;
- определяются значения вероятностей ложного и необнаруженного отказов по полученным точкам пересечений прямых с осью ординат.

При неизвестной σ_x закона распределения параметра значения вероятностей определяются по табл. 2.

Таблица 2 – Значения вероятностей ложного и необнаруженного отказов (справедливы для безусловных вероятностей)

$R = \Delta_{\Sigma} / \delta_n $	$P_{\text{ло ф}}$		$P_{\text{но ф}}$	
	нормальный	равновероятный	нормальный	равновероятный
0,1	0,007	0,013	0,007	0,015
0,2	0,013	0,026	0,013	0,025
0,3	0,021	0,039	0,018	0,036
0,4	0,028	0,052	0,024	0,047
0,5	0,037	0,065	0,030	0,055
0,6	0,045	0,078	0,035	0,062
0,7	0,055	0,091	0,041	0,068
0,8	0,065	0,104	0,045	0,072
0,9	0,075	0,117	0,050	0,076
1,0	0,086	0,130	0,054	0,080

В том случае, если есть сведения о вероятности нахождения контролируемого параметра в пределах допуска $P(\Omega)$ оценка максимально возможных $P_{\text{ло}}$ и $P_{\text{но}}$ должна быть уточнена с помощью таблиц 3 и 4.

Таблица 3 – Уточненные значения вероятностей ложного и необнаруженного отказов (для нормального закона распределения)

Значение коэф-та точности измерений	Вероятность нахождения контролируемого параметра в допуске											
	$0,8 \leq P(\Omega) < 0,85$		$0,85 \leq P(\Omega) < 0,9$		$0,9 \leq P(\Omega) < 0,95$		$0,95 \leq P(\Omega) < 0,98$		$0,98 \leq P(\Omega) < 0,99$		$P(\Omega) \geq 0,85$	
	$P_{\text{ло}}$	$P_{\text{но}}$	$P_{\text{ло}}$	$P_{\text{но}}$	$P_{\text{ло}}$	$P_{\text{но}}$	$P_{\text{ло}}$	$P_{\text{но}}$	$P_{\text{ло}}$	$P_{\text{но}}$	$P_{\text{ло}}$	$P_{\text{но}}$
1,0	0,080	0,042	0,079	0,035	0,075	0,027	0,065	0,015	0,051	0,007	0,043	0,004
2,0	0,035	0,025	0,033	0,022	0,029	0,017	0,022	0,010	0,015	0,005	0,010	0,003
3,0	0,022	0,018	0,021	0,016	0,018	0,012	0,013	0,008	0,009	0,004	0,005	0,002
4,0	0,016	0,014	0,015	0,012	0,013	0,010	0,009	0,006	0,005	0,003	0,004	0,002
5,0	0,013	0,011	0,012	0,010	0,010	0,008	0,007	0,005	0,004	0,003	0,003	0,002
10	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,004	0,003	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001

Таблица 4 – Уточненные значения вероятностей ложного и необнаруженного отказов
(для равномерного закона распределения)

Значение коэф-та точности измерений	Вероятность нахождения контролируемого параметра в допуске											
	0,8≤P(Ω)<0,85		0,85≤P(Ω)<0,9		0,9≤P(Ω)<0,95		0,95≤P(Ω)<0,98		0,98≤P(Ω)<0,99		P(Ω)≥0,85	
	P _{ло}	P _{но}	P _{ло}	P _{но}	P _{ло}	P _{но}	P _{ло}	P _{но}	P _{ло}	P _{но}	P _{ло}	P _{но}
1,0	0,112	0,071	0,118	0,059	0,125	0,043	0,129	0,023	0,130	0,010	0,131	0,005
2,0	0,056	0,049	0,059	0,046	0,062	0,037	0,064	0,022	0,065	0,009	0,066	0,005
3,0	0,037	0,035	0,039	0,035	0,042	0,031	0,043	0,020	0,043	0,009	0,044	0,005
4,0	0,028	0,025	0,030	0,029	0,031	0,027	0,032	0,019	0,033	0,009	0,033	0,005
5,0	0,022	0,021	0,024	0,022	0,025	0,023	0,026	0,017	0,026	0,009	0,026	0,005
10	0,011	0,011	0,012	0,011	0,012	0,012	0,013	0,012	0,013	0,008	0,013	0,004

Коэффициент точности для табл. 3 и 4 выбирается из ряда: 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5, при этом чем выше значимость контролируемого параметра, тем больше должно быть значение коэффициента точности.

Показатели достоверности многопараметрического контроля аппаратуры (при n взаимонезависимых равноинформативных параметрах) определяются через условные вероятности ложного и необнаруженного отказов α и β .

$$\alpha = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \alpha_i), \quad (1)$$

где: α_i – условная вероятность ложного отказа для i -го параметра.

$$\beta = \frac{\prod_{i=1}^n [P(\Omega_i)(1 - \alpha_i) + ((1 - P(\Omega_i)) \cdot \beta_i)] - \prod_{i=1}^n P(\Omega_i)(1 - \alpha_i)}{1 - \prod_{i=1}^n P(\Omega_i)} \cdot \pi + (1 - \pi) \prod_{i=1}^n (1 - \alpha_i), \quad (2)$$

где: β_i – условная вероятность необнаруженного отказа для i -го параметра; π – полнота контроля.

Значение полноты контроля определяется по формуле (3).

$$\pi = \frac{1 - \prod_{i=1}^n P(\Omega_i)}{Q}, \quad (3)$$

где: Q – вероятность отказа аппаратуры.

Достоверность в соответствии с РД В 319.01.13-99 определяется по формуле (4).

$$D = 1 - P_{\text{ло}} - P_{\text{но}}. \quad (4)$$

В случае автоматического контроля измерения не происходит, соответственно отсутствуют средства измерения и такие параметры, как погрешность измерения, допусаемое отклонение контролируемого параметра и пр. В следствие чего возникает необходимость рассмотреть иные математические аппараты для определения достоверности автоматического контроля.

1.3. Анализ оценки достоверности контроля через показатели надежности

Одним из вариантов оценки достоверности автоматического контроля является оценка через показатели надежности, методика которой изложена в [7].

В качестве $P_{\text{ок}}$ модели, представленной на рис. 1, принимается один из показателей надежности – коэффициент готовности K_r (для восстанавливаемых технических средств

(ТС)) или вероятность безотказной работы $P(t)$ (для невосстанавливаемых ТС), которые определяются по формулам (5) и (6) соответственно.

$$K_{\Gamma} = \frac{T_o}{T_o + T_b}, \quad (5)$$

где: T_o – средняя наработка на отказ; T_b – средняя наработка на отказ.

$$P(t) = \exp(-t / T_o), \quad (6)$$

где: t – период времени, на которое рассчитывается вероятность безотказной работы.

Критерий, определяющий вероятность соответствия результата контроля истинному значению, может быть определен через формулу условной вероятности Байеса:

$$P(x_i / z_j) = \frac{P(x_i)P(z_j / x_i)}{\sum_{i=1}^n P(x_i)P(z_j / x_i)}, \quad (7)$$

где: x_i – событие, заключающееся в том, что ОК находится в i -ом состоянии («исправном» или «неисправном»); z_j – событие, заключающееся в выдаче j -го результата контроля («годен» или «негоден»); $i = 1, 2, \dots, n$ – номер различаемого состояния ОК; $j = 1, 2, \dots, n$ – номер возможной разновидности результатов контроля ОК; $P(x_i / z_j)$, $P(x_i)$, $P(z_j / x_i)$ – вероятности появления соответствующих событий.

Для двувальтернативного контроля формула (7) примет следующие виды при раздельной оценке полной достоверности:

– результат контроля «годен»:

$$D_{и}(\Gamma) = \frac{P_{ок} - P_{ло}}{(P_{ок} - P_{ло}) + P_{но}}, \quad (8)$$

– результат контроля «негоден»:

$$D_{и}(\Gamma) = \frac{Q_{ок} - P_{но}}{(Q_{ок} - P_{но}) + P_{ло}}. \quad (9)$$

Рассмотренный подход является общим, так как в качестве показателя контроля рассматривается показатель надежности ОК, который учитывает только отказы аппаратной части ОК и не учитывает ошибки в программном обеспечении. Однако в реальных системах контроля помимо отказов аппаратной части также возникают ошибки в программном обеспечении, которые могут привести к ошибочным результатам контроля.

Кроме того, в показателе надежности учтена надежность как ОК, так и надежность АК, так как она, как правило, входит в состав ОК. Надежность ОК отражает вероятность его правильной работы без отказов, а надежность АК отражает его способность точно определять состояние ОК. При оценке качества контроля важно учитывать и ту, и другую надежность, так как ошибки как в ОК, так и в АК могут привести к неверным результатам контроля.

Таким образом, при разработке систем контроля необходимо учитывать не только отказы аппаратной части ОК, но также ошибки в программном обеспечении и надежность АК, чтобы обеспечить более точную оценку состояния объекта контроля.

1.4. Анализ оценки достоверности контроля через оценку информации (автоматизированный контроль)

В ГОСТ РВ 51987-2002 представлены модели для оценки безошибочности информации после контроля. Однако они предназначены для автоматизированного контроля, а не для автоматического.

В зависимости от соотношения таких параметров, как реальное время контроля $T_{реальн}$, задаваемое допустимое время на процедуру контроля информации $T_{зад}$ и период непрерывной работы контролера $T_{непр}$, возможны 4 варианта определения вероятности отсутствия ошибок в информации $P_{после}$, проиллюстрированных на рис. 2.

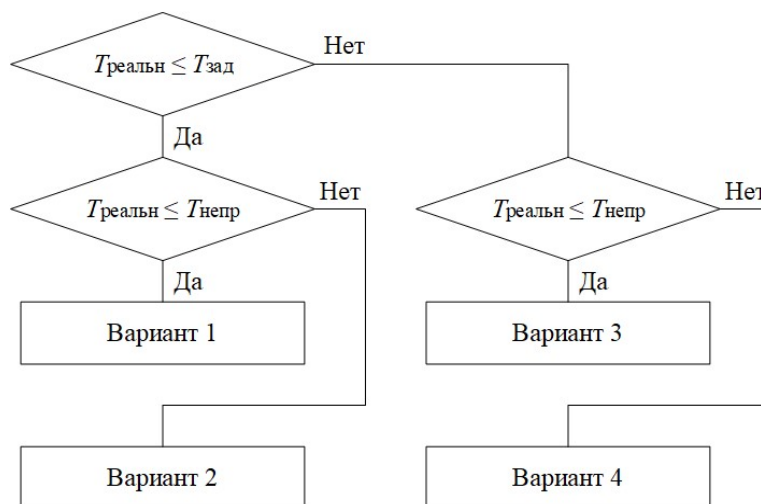


Рис. 2. Различные условия контроля безошибочности информации

В случае каждого из вариантов вероятность отсутствия ошибок в информации определяется по формулам (10) – (14).

Вариант 1

$$P_{\text{после (1)}} = \begin{cases} \frac{\exp(-nVv) \cdot [T_o^{-1} \exp(-nVv) - \mu v \exp(-V / T_o v)]}{T_o^{-1} - \mu v}, & \text{если } T_o^{-1} \neq \mu v \\ \exp(-(n + \mu v)V / v) [1 - V\mu], & \text{если } T_o^{-1} = \mu v \end{cases}, \quad (10)$$

где: V – объем контролируемой информации; μ – доля первоначальных ошибок в проверяемой информации (до контроля); v – средняя скорость контроля информации; n – частота ошибок контроля 1-го рода (в случае автоматизированного контроля – ошибка, случайно внесенная контролером); T_o – среднее время наработки контролера на ошибку 2-го рода (в случае автоматизированного контроля – пропуск ошибки).

Вариант 2

$$P_{\text{после (2)}} = \{P_{\text{после (1)}}(V_{\text{части (2)}}, \mu, v, n, T_o, T_{\text{непр}}, T_{\text{зад части (2)}})\}^N, \quad (11)$$

где: $N = V / (vT_{\text{непр}})$ – количество периодов непрерывной работы контролера; $V_{\text{части (2)}} = V / N$ – объем контролируемой информации; $T_{\text{зад части (2)}} = T_{\text{зад}} / N$ – допустимое время контроля для части информации.

Вариант 3

$$P_{\text{после (3)}} = [V_{\text{части (3)}} / V] \cdot P_{\text{после (1)}}(V_{\text{части (3)}}, \mu, v, n, T_o, T_{\text{непр}}, T_{\text{зад}}) + [(V - V_{\text{части (3)}}) / V] \cdot P_{\text{бк}}, \quad (12)$$

где: $V_{\text{части (3)}} = vT_{\text{зад}}$ – часть объема, которая может быть проверена; $P_{\text{бк}} = \exp(-\mu(V - V_{\text{части (3)}}))$ – вероятность ошибок в непроверенной части информации ($V - V_{\text{части (3)}}$).

Вариант 4

– подвариант 4.1: время проверки меньше периода непрерывной работы контролера ($T_{\text{зад}} \leq T_{\text{непр}}$):

$$P_{\text{после (4.1)}} = [V_{\text{части (4)}} / V] \cdot P_{\text{после (1)}}(V_{\text{части (4)}}, \mu, v, n, T_o, T_{\text{непр}}, T_{\text{зад}}) + [(V - V_{\text{части (4)}}) / V] \cdot \exp(-\mu(V - V_{\text{части (4)}})); \quad (13)$$

– подвариант 4.2: потребуется несколько $N_{(4)} = V_{\text{части (4)}} / (vT_{\text{непр}})$ периодов непрерывной работы контролера ($T_{\text{зад}} > T_{\text{непр}}$):

$$P_{\text{после (4.2)}} = [V_{\text{части (4)}} / V] \cdot \{P_{\text{после (1)}}(V_{\text{части (4.2)}}, \mu, v, n, T_o, T_{\text{непр}}, T_{\text{зад части (4.2)}})\}^N + [(V - V_{\text{части (4)}}) / V] \cdot \exp(-\mu(V - V_{\text{части (4)}})), \quad (14)$$

где: $V_{\text{части (4.2)}} = V_{\text{части (4)}} / N$ – средний объем проверяемых частей; $T_{\text{зад части (4.2)}} = T_{\text{зад}} / N$ – допустимое время контроля для $V_{\text{части (4.2)}}$ информации.

2. Разработка математического аппарата для определения показателей достоверности автоматического контроля

Формулы (11) – (14) могут быть адаптированы для автоматического контроля, при этом показатели, обусловленные человеческим фактором, приходят к следующему виду:

1) частота ошибок контроля 1-го рода для автоматического контроля $n = 0$, так как АК не вносит изменений в контролируруемую информацию;

2) среднее время наработки контролера на ошибку 2-го рода $T_{\text{в}}$ в случае автоматического контроля представляет собой наработку на отказ АК;

3) период непрерывной работы АК $T_{\text{непр}} \rightarrow \infty$ (без учета запланированного времени, затрачиваемого на выполнение технического обслуживание и т.д.), так как ТС в отличие от человека не подвержено утомлению.

Исходя из вышеизложенного варианты 2 и 4 определения значения вероятности отсутствия ошибок в информации могут быть отброшены, так как в случае автоматического контроля условие $T_{\text{реальн}} \leq T_{\text{непр}}$ практически всегда выполнимо. В случае первого варианта формула (11) в следствие преобразований принимает следующий вид:

$$P_{\text{после(1)}} = \begin{cases} \frac{T_0^{-1} - \mu\nu \cdot \exp(-V / T_0 \cdot \nu)}{T_0^{-1} - \mu\nu}, & \text{если } T_0^{-1} \neq \mu\nu \\ \exp(-\mu V [1 - V\mu]), & \text{если } T_0^{-1} = \mu\nu \end{cases} \quad (15)$$

Формула (6) видоизменений не претерпевает.

Для рассматриваемого случая модель формирования правильного диагноза может быть преобразована следующим образом (рис. 3).

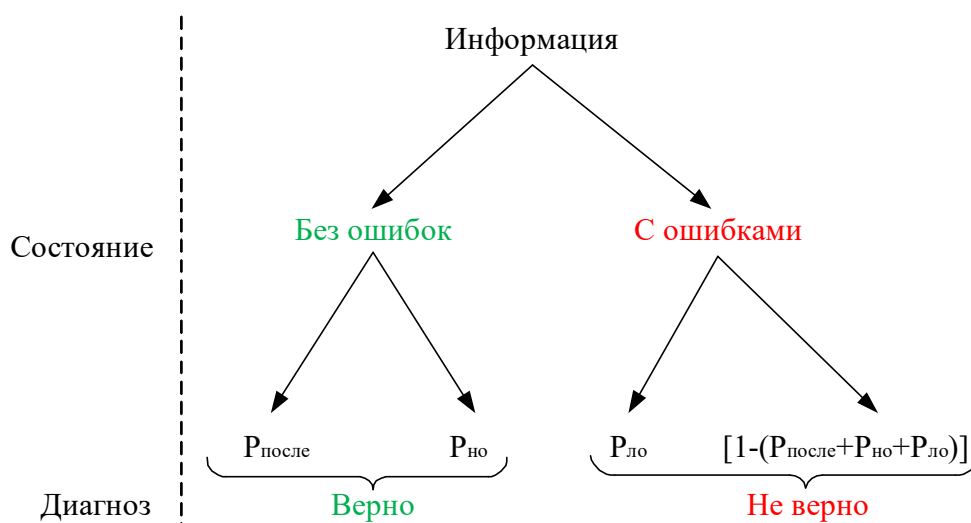


Рис. 3. Модель формирования правильного диагноза

С учетом модели, представленной на рисунке 3, при отдельной оценке полной достоверности формула (7) видоизменяется следующим образом:

– результат контроля «годен»:

$$D_{\text{и}}(\Gamma) = \frac{P_{\text{после}}}{P_{\text{после}} + P_{\text{но}}}; \quad (16)$$

– результат контроля «негоден»:

$$D_{\text{и}}(\bar{\Gamma}) = 1 - \frac{P_{\text{ло}}}{1 - P_{\text{после}} - P_{\text{но}}}. \quad (17)$$

Выводы

Таким образом, предложенные два подхода к расчету достоверности контроля имеют свои особенности. Первый подход позволяет только диагностировать неработоспособное состояние «железа», т. е. отказ аппаратной части, и не учитывает возможность неисправности, которая искажает информацию, но при этом объект контроля не переходит в состояние «неработоспособное». Кроме того, в первом варианте отсутствует разделение между надежностью объекта контроля и надежностью аппаратуры контроля.

Второй вариант, с оценкой вероятности безошибочности информации, является более детализированным и учитывает надежность аппаратуры контроля. В этом случае вероятность отсутствия ошибок в информации учтена в самой информации, что позволяет определить не только отказ объекта контроля, но и возможные искажения информации из-за прочих неисправностей. Таким образом, второй подход предлагает более обширный анализ и, как следствие, более точную оценку достоверности контроля.

Однако, необходимо провести дополнительные исследования и проверить второй подход на практике, чтобы установить его эффективность и применимость в конкретных условиях. Дальнейшие исследования могут также включать сравнительный анализ разных подходов и разработку новых методик для более точной оценки достоверности контроля с учетом ошибок в информации.

Литература

- 1 Лапшин Э. В., Коршунов Д. В., Васильев А. С. Надёжность сложных технических систем // НиКа. 2018. С. 375-377.
- 2 Голюнов М. В. Своевременность контроля технического состояния средств радиосвязи // Техника средств связи. 2021. № 4 (156). С. 61-69.
- 3 Лушпа И. Л. О надежности механических компонентов // НиКа. 2018. С. 117-118.
- 4 Касьминин Д. А. Модели надежности технических средств // Вестник науки. 2023 № 6 (63). С. 69-74.
- 5 Стрелавина О. Д., Ефимов С. Н., Терсков В. А., Лихарев М. А. Повышение надежности программного обеспечения для распределенных систем управления // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021 № 3. С. 459-467.
- 6 Уланов А. О. Подходы к оценке надежности информационных систем // НиКа. 2020. С. 35-39.
- 7 Ивахненко Н. Н. Особенности оценки надежности технических систем // Наука и перспективы. 2020. № 1. С. 56-67.
- 8 Абрамкин Р. В., Бартош В. В., Винограденко А. М. Автоматизированный контроль технического состояния электротехнических средств военной техники связи в системе электроэнергетического обеспечения // I-methods. 2020. № 3. С. 1-13.
- 9 Мальцев Г. Н., Якимов В. Л. Достоверность многоэтапного контроля технического состояния объектов испытаний // Информационно-управляющие системы. 2018. № 1 (92). С. 49-57.
- 10 Кузнецов С. В., Винограденко А. М. Модель единой централизованной автоматизированной системы управления техническим состоянием вооружения, военной и специальной техники // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. № 4. С. 48-54.
- 11 Будко П. А., Литвинов А. И., Гойденко В. К. Прогнозирование технического состояния на основе бесконтактного контроля параметров динамических процессов в цепях питания электрооборудования специального назначения // I-methods. 2017. № 3. С. 16-23.
- 12 Сапожников В. В., Ефанов Д. В., Сапожников В. В. Основы теории надежности и технической диагностики. СПб.: Лань, 2019. 588 с.
- 13 Березкин Е. Ф. Надежность и техническая диагностика систем. СПб.: Лань, 2019. 260 с.

14 Калитенков Н. В., Солодов В. С. Техническая диагностика радиоборудования и средств автоматики. СПб.: Лань, 2019. 156 с.

15 Сугак Е. В. Прикладная теория надежности. Часть 1. Основы теории. СПб.: Лань, 2022. 276 с.

References

1 Lapshin E. V., Korshunov D. V., Vasiliev A. S. Reliability of complex technical systems. NiKa Publ., 2018. Pp. 375-377 (in Russian).

2 Golyunov M. V. Timeliness of monitoring the technical condition of radio communications. Means of communication equipment. 2021. No. 4 (156). Pp. 61-69 (in Russian).

3 Lushpa I. L. About the reliability of mechanical components. NiKa Publ., 2018. Pp. 117-118 (in Russian).

4 Kasminin D. A. Models of reliability of technical means. Bulletin of Science. 2023 No. 6 (63). Pp. 69-74 (in Russian).

5 Strelavina O. D., Efimov S. N., Terskov V. A., Likharev M. A. Increasing software reliability of a distributed control systems. Siberian Aerospace Journal. 2021. No. 3. Pp. 459-467 (in Russian).

6 Ulanov A. O. Approaches to assessing the reliability of information systems. NiKa Publ., 2020. Pp. 35-39 (in Russian).

7 Ivakhnenko N. N. Features of reliability assessment of technical systems. Science and prospects. 2020. No. 1. Pp. 56-67 (in Russian).

8 Abramkin R. V., Bartosh V. V., Vinogradenko A. V. Automated control of the technical condition of electrical equipment military communications equipment in the power supply system. I-methods. 2020. No. 3. Pp. 1-13 (in Russian).

9 Maltsev G. N., Yakimov V. L. Reliability of multi-stage control of the technical condition of test objects. Information and control systems. 2018. No. 1 (92). Pp. 49-57 (in Russian).

10 Kuznetsov S. V., Vinogradenko A. M. Model of a single centralized automated system for controlling technical condition of armaments, military and special equipment. H&ES Research. 2018. No. 4. Pp. 48-54 (in Russian).

11 Budko P. A., Litvinov A. I., Goydenko V. K. Technological forecasting on the basis of contactless control of the dynamic processes in the special purpose electrical supply circuits. I-methods. 2017. No. 3. Pp. 16-23 (in Russian).

12 Sapozhnikov V. V., Efanov D. V., Sapozhnikov V. V. *Osnovy teorii nadezhnosti i tekhnicheskoi diagnostiki* [Fundamentals of reliability theory and diagnostics]. Saint-Petersburg: Lan Publ., 2019. 588 p. (in Russian).

13 Berezkin, E. F. *Nadezhnost i tekhnicheskaya diagnostika sistem* [Reliability and technical diagnostics of systems]. Saint-Petersburg: Lan Publ., 2019. 260 p. (in Russian).

14 Kalitenkov N. V., Solodov V. S. *Tekhnicheskaya diagnostika radiooborudovaniya i sredstv avtomatiki* [Technical diagnostics of radio equipment and automation devices]. Saint-Petersburg: Lan Publ., 2019. 156 p. (in Russian).

15 Сугак Е. В. *Прикладная теория надежности. Часть 1. Основы теории* [Applied Reliability Theory. Part 1. Fundamentals of Theory]. Saint-Petersburg: Lan Publ., 2022. 276 p. (in Russian).

Статья поступила 20.06.2023 г.

Информация об авторах

Шалаева Мария Евгеньевна – Инженер 1-й категории. Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Область научных интересов: контроль технического состояния изделий. Тел.: 8(812)295-50-69, доп. 52-25. E-mail: ShalaevaME@inteltech.local.

Баринов Михаил Анатольевич – Кандидат технических наук, доцент. Начальник отдела. ПАО «Интелтех». Область научных интересов: контроль технического состояния изделий. Тел.: 8(812)295-50-69, доп. 13-98. E-mail: BarinovMA@inteltech.local.

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д.8.

Mathematical model for evaluating the reliability of automatic control

M. E. Shalaeva, M. A. Barinov

Annotation. *There is currently no standardized mathematical model available to assess the reliability of automatic control of a technical system, taking into account both hardware failures of the system and control equipment, as well as software errors. Existing models described in the accessible sources focus on evaluating the reliability of measurement (parametric) and automated control. Purpose:* The purpose of is to analyze existing mathematical models for control assessment and develop a model based on them that allows for the evaluation of the reliability of automatic control. **Methods:** *Used methods include analyzing scientific articles, monographs, well-known standardized mathematical models, and other primary sources containing information on reliability indicators for various types of control. Novelty:* The novelty of this research lies in considering the parameters of the control equipment used for automatic control within the proposed model. Additionally, the assessment of control reliability is conducted not through quality indicators (specifically, reliability indicators), but through the accuracy of the transmitted information as the final "product" conveyed through communication channels. **Results:** The result of this research is the proposal of a mathematical model for assessing the reliability of automatic control, considering hardware failures of the system, control equipment, and software errors. **Practical relevance:** The practical significance of this research is that the proposed model can be applied in experimental design work at PJSC "Inteltech" and subsequently standardized for use in other enterprises.

Key words: *control by measurement, automated control, automatic control, validity, errors of type I and II.*

Information about Authors

Shalaeva Mariya Evgenevna – Engineer of the 1st category. Public Joint Stock Company "Information Telecommunication Technologies" (PJSC "Inteltech"). Field of research: technical state inspection. Tel.: 8(812)295-50-69 (52-25). E-mail: ShalaevaME@inteltech.local

Barinov Michail Anatolevich – PhD, docent. Head of department. PJSC "Inteltech". Field of research: technical state inspection. Tel.: 8(812)295-50-69 (13-98). E-mail: BarinovMA@inteltech.local.

Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street, 8.

Для цитирования: Шалаева М. Е., Баринов М. А. Математическая модель оценки достоверности автоматического контроля // Техника средств связи. 2023. № 2 (162). С. 76-85. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-2-76-85.

For citation: Shalaeva M. E., Barinov M. A. Mathematical model for evaluating the reliability of automatic control // Means of Communication Equipment. 2023. No. 2 (162). Pp. 76-85. DOI:1024412/2782-2141-2023-2-76-85 (in Russian).

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК: 621.39

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-2-86-96

Модель формирования профиля функционирования системы безопасности проекта

Дементьев В. Е., Лепешкин Е. О.

Аннотация. Постановка задачи: в статье представлена модель формирования профиля функционирования системы безопасности, позволяющая реализовать требования системы безопасности при разработке проекта. Применение представленной модели позволит, основываясь на использовании профиля системы безопасности выполнить контроль и определение критичности согласования требований по безопасности элементов проекта, выявления конфликтов и их устранение, а так же обеспечить устойчивость системы безопасности при проектировании и выполнении всех требуемых ограничений, функций и задач. **Цель работы** заключается в построении модели формирования профиля функционирования системы безопасности при разработке проекта. В работе используется **научно-методический аппарат** системного анализа. **Новизна** работы состоит в системном подходе к определению функционального состояния системы безопасности проекта, учитывающего согласование требований, выявление и устранение конфликтов элементов системы безопасности. **Результат:** получена модель формирования профиля функционирования системы безопасности проекта, выявлены характеристики и условия для обеспечения функционирования требуемой системы безопасности проекта. **Практическая значимость** заключается в возможности использования полученной модели для контроля и доведения до требуемого состояния функционирования системы безопасности при разработке проекта.

Ключевые слова: контроль, критичность, матрицы согласования, регламент, профиль функционирования системы безопасности, система управления проектированием.

Введение

В состав любой системы проектирования входит подсистема контроля, которая является сложным функциональным динамическим образованием, что обуславливает трудности ее формализации. Для контроля необходим инструмент, формализующий функционирование системы и подходы, позволяющие контролировать изменения элементов в реальном масштабе времени. В статье предлагается модель формирования профиля функционирования системы безопасности (СБ) проекта. Современные СБ являются критически важными объектами систем управления проектированием, функционирование которых они обеспечивают. Обеспечение процесса СБ является сложной задачей, без решения которой становится затруднительным обеспечение устойчивого функционирования системой управления проектированием.

К системам управления проектированием СБ предъявляются жесткие требования, в первую очередь, по устойчивости их функционирования, т. е. выполнение системой своих заданных требованиями функций (задач). Традиционно устойчивость систем рассматривается в аспекте только надежности, живучести и киберустойчивости [1-4]. Количественно, как правило, устойчивость СБ оценивается через вероятность обеспечения одного из показателей. Однако требования учета процессного подхода, и работа в реальном масштабе времени системы управления проектированием СБ требует пересмотра подходов к обеспечению устойчивости через анализ процессов функционирования и количественной оценки задач, функций, требований и целей систем [5-10].

1. Схема формирования профиля функционирования системы безопасности проекта

Профилем функционирования СБ называется совокупность взаимосвязанных целей, требований, функций и задач СБ, выполнение которых обеспечивается имеющимся у СБ ресурсом, разнесенным в пространстве и времени [11]. Процесс функционирования СБ можно представить в виде совокупности [12]:

- множества целей СБ $A = \{A_1, A_2, \dots, A_a\}$;
- множества требований к СБ $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$;
- множества функций СБ $F = \{F_1, F_2, \dots, F_c\}$;
- множества задач, реализующих функции СБ $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_q\}$;
- множества ресурсов СБ $E = \{E_1, E_2, \dots, E_m, \mu(t, k)\}$ – множество ресурсов СБ, обеспечивающих функционирование, t – время, $k(x, y)$ – характеристики, определяющие пространственное расположение объекта СБ.

Исходными данными для формирования и построения проекта является СБ, преобразованная в профиль плана СБ. На выходе формируется профиль функционирования СБ относительно которой строится контролируемый проект и вырабатываются дополнительные управляющие воздействия (рис. 1).

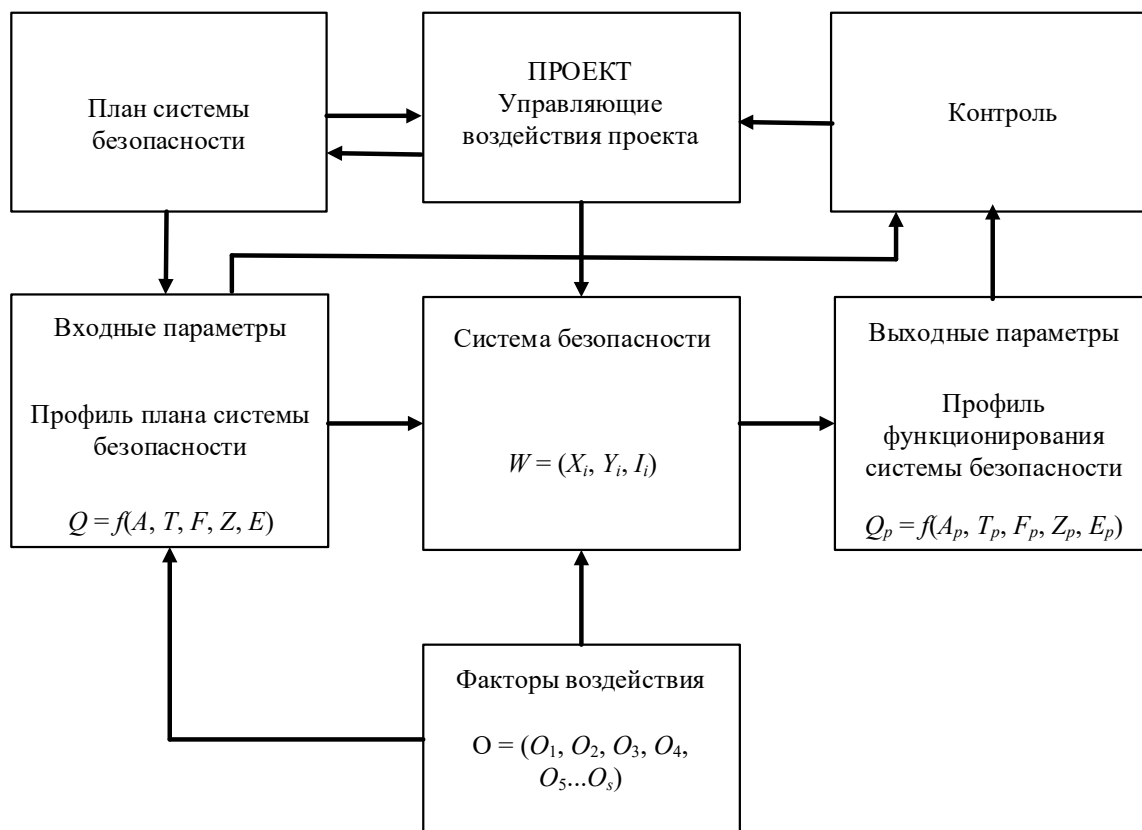


Рис. 1. Структурная схема формирования профиля функционирования СБ при проектировании

На рис. 1 факторы воздействия O обусловлены:

O_1 – воздействие природных и техногенных факторов искусственного и естественного характера (грозы, бури, ураганы, дожди, жара, холод пожары и т. д.);

O_2 – информационные и информационно-технические воздействия;

O_3 – физические воздействия на систему и ее элементы;

O_4 – компьютерные воздействия;

O_5 – воздействия других систем и их элементов;

O_s – другие воздействия.

Система безопасности описывается вектором W , который характеризуется структурой СБ $X = (X_1, X_2, X_3, X_4, \dots X_i)$, где i – количество структур СБ, описывающих ее элементы, функциональной связностью системы $Y = (Y_1, Y_2, \dots Y_i)$ и ресурсной связностью системы $I = (I_1, I_2, \dots I_i)$.

Использование профиля функционирования СБ для осуществления предикативного контроля процесса функционирования СБ показано на рис. 2.

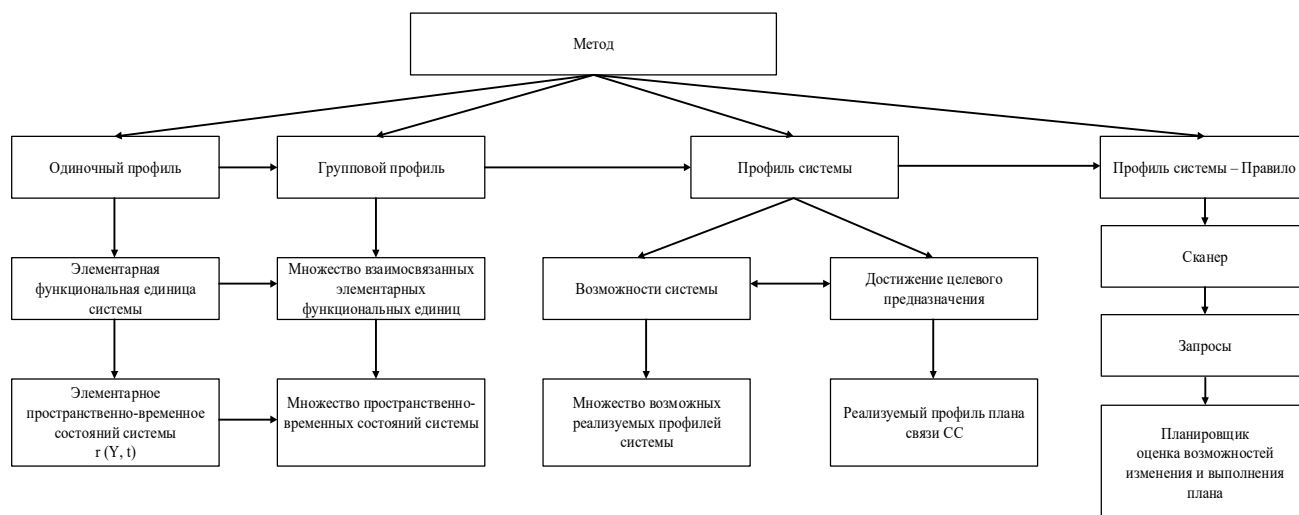


Рис. 2. Использование профиля функционирования СБ в процессе ее контроля

Через запросы в СБ сканером осуществляется выявление отклонений выполнения профиля функционирования СБ – плана СБ.

При формировании профиля функционирования СБ осуществляется согласование элементов выполняемого профиля по уровням, как цели-требования, требования-функции, функции-задачи, задачи-ресурса. Данное согласование позволяет выявлять и принимать меры к устранению конфликтов, связанных с невыполнением целей, требований, функций, задач из-за отсутствия ресурсов. Для каждой цели, требования, функции и задачи определяется возможность их своевременного выполнения и обеспеченность их соответствующим ресурсом.

Для описания структуры СБ в профиле функционирования СБ формируются матрицы связности элементов системы:

$$|q| = |q_1| \vee |q_2| \vee \dots \vee |q_N|, \tag{1}$$

где выполняются следующие операции: $0 \vee 0 = 0, 1 \vee 0 = 1, 0 \vee 1 = 1, 1 \vee 1 = 1$.

Для количественного описания связей в СБ, формируется матрица:

$$|q| = |q_1| + |q_2| + \dots + |q_k|. \tag{2}$$

Информация о соответствующих элементах регламента система получает из соответствующей базы данных. Рассмотрим соответствующие матрицы:

1) Согласования задач системы и ресурсов необходимых для их решения, где столбцы соответствуют задачам системы безопасности, а строки характеризуют ресурсы системы необходимые для выполнения каждой задачи.

2) Согласования функций системы и задач, обеспечивающих их выполнение, где столбцы соответствуют функциям системы связи, а строки характеризуют задачи системы, обеспечивающие выполнение каждой функции.

3) Согласования требований системы и функций, где столбцы соответствуют требованиям, предъявляемым к системе связи, а строки характеризуют функции системы.

4) Согласования требований, предъявляемых к системе связи и целей системы, где столбцы соответствуют целям системы связи, а строки характеризуют требования,

предъявляемые к ней. Кроме этого, необходимо производить согласование задач и ресурсов по времени, таким образом, что если ресурс, используется для реализации разных задач одновременно, то формируется символ 1, иначе – 0. Такое состояние, также может обуславливать возникновение конфликта в системе функционирования.

5) Согласования ресурсов по времени, где столбцы соответствуют временным отрезкам, а строки задачам системы безопасности, при этом значение отрезка $\Delta t = t_a - t_{a-1}$ выбирается исходя из требований системы контроля, системы связи или системы управления, а также условий функционирования СБ, $a = [0, \infty)$, величина $\Delta t = t_a - t_0$ определяет общее время функционирования системы связи, согласно профиля, при этом, как правило, $t_0 = 0$.

Для обеспечения функционирования системы необходима реализация всего набора регламентов безопасности, определённых руководящими документами.

Под регламентом понимается набор правил, обеспечивающих выполнение системой функций, задач, целей. При этом регламент должен выполняться на определенном временном интервале и с требуемым (заданным) качеством. Он определяет порядок действия, требуемые ресурсы, требования и необходимый достигаемый результат.

Выполнимость регламентов на 1-ом уровне СБ опираясь на формулы (1) и (2) можно представить в виде матриц согласования целей, требований, функций, задач и ресурсов СБ:

- согласование уровня целей и требований примет вид:

$$F_{\text{согл.1 ур.1}} = f\{A, T\}; \quad (3)$$

- согласование уровня требований и функций примет вид:

$$F_{\text{согл.1 ур.2}} = f\{T, F\}; \quad (4)$$

- согласование уровня функций и задач примет вид:

$$F_{\text{согл.1 ур.3}} = f\{F, Z\}; \quad (5)$$

- согласование уровня задач и ресурсов примет вид:

$$F_{\text{согл.1 ур.4}} = f\{Z, E\}. \quad (6)$$

Тогда, используя формулы (3) – (6) согласование связности целей, требований, функций, задач на 1-ом уровне СБ примет вид:

$$F_{\text{согл.1 эт.1}} = f\{F_{\text{согл.1 ур.1}}, F_{\text{согл.1 ур.2}}, F_{\text{согл.1 ур.3}}, F_{\text{согл.1 ур.4}}\}. \quad (7)$$

Согласование использования ресурсов, обеспечивающих решение задач системы безопасности, примет следующий вид:

$$G_{\text{согл. E 1}} = g\{E_m, E_m\}, \quad (8)$$

а с учетом времени выполнения формула (8) получит вид:

$$G_{\text{согл. E}} = g\{G_{\text{согл. E 1}}, G_{\text{согл. t}}\}, \quad (9)$$

где $G_{\text{согл. t}} = g\{t, t\}$ – согласование времени, необходимого для выполнения задач (регламента).

Согласование выполнения задач, обеспечивающих функционирование системы безопасности, имеет вид:

$$G_{\text{согл. Z}} = g\{Z_q, Z_q\}. \quad (10)$$

Согласование выполнения функций, обеспечивающих функционирование системы безопасности, имеет вид:

$$G_{\text{согл. F}} = g\{F_c, F_c\}. \quad (11)$$

Согласование выполнения требований, предъявляемых к СБ, имеет вид:

$$G_{\text{согл. T}} = g\{T_n, T_n\}. \quad (12)$$

Согласование выполнения целей СБ имеет вид:

$$G_{\text{согл. A}} = g\{A_a, A_a\}. \quad (13)$$

Тогда, используя формулы (9) – (13) матрица количественного согласования целей, требований, функций, задач на 1-ом уровне СБ примет вид:

$$F_{\text{согл.1 эт.2}} = f\{G_{\text{согл. A}}, G_{\text{согл. T}}, G_{\text{согл. F}}, G_{\text{согл. Z}}, G_{\text{согл. E}}\}. \quad (14)$$

Общее выражение функции согласования 1 уровня на основе формул (7) и (14) можно обозначить выражением

$$F_{\text{согл.1 эт.}} = f\{F_{\text{согл.1 эт.1}}, F_{\text{согл.1 эт.2}}\}. \quad (15)$$

После согласования 1 уровня элементов СБ проводится согласование 2 и последующих уровней, включающее согласованные элементы предыдущего уровня.

При рассмотрении регламента системы определяется последовательность выполнения каждой цели, начиная с первой и заканчивая последней, тогда набор функций выполнения регламента СБ имеет вид:

$$F_{\text{вып рег}}(A) = \sum_{i=1}^a F_{\text{вып рег}}(A_i), \quad (16)$$

где $F_{\text{вып рег}}(A_i) = f(T, F, Z, E)$.

Функции системы, характеризуют выполнение целей системы в условиях обеспечения требований к ней, и представляют собой набор функций, выполнением которых обеспечивается выполнение регламента:

$$f(F) = \sum_{i=1}^c f(F_i), \quad (17)$$

где $F(F_i) = f(Z, E)$.

Совокупность множеств целей, требований, функций, задач и ресурсов системы можно представить через профиль функционирования и регламент функционирования СБ.

Для определения регламента необходимо определение требований к СБ и последовательности достижения целей СБ:

- для каждой цели определить количество и последовательность выполнения функций СБ;
- для каждой функции определить количество и последовательность решения задач СБ;
- для каждой задачи определить необходимое количество ресурса и порядок его задействования.

2. Модель процесса контроля функционирования системы безопасности с использованием профиля процесса функционирования системы безопасности

Процесс согласования профилей осуществляется по уровням целей, требований, функций и задач, а также по ресурсному обеспечению. Кроме этого, проверяется взаимовлияние целей, требований, функций и задач на уровне.

Формируемый системой план и вносимые в него изменения формируют базу данных, описывающую процесс функционирования СБ [13].

Модель контроля процесса функционирования СБ показана на рис. 3.

Матрицы согласования СБ представлены на рис. 4.

Совокупность взаимосвязанных ресурсов, задач, функций, требований и целей СБ позволяют сформировать профиль процесса функционирования СБ. Информация профиля сравнивается с результатами контроля, что позволяет своевременно выявлять и реагировать на возникающие конфликты в СБ, обусловленные отличием профиля от процесса функционирования, а также обеспечить устойчивое функционирование СБ.

Производится ранжирование, определение значимости или критичности объектов, задач, функций, требований, целей; при нарушении функционирования элементов системы, выявление их критичности происходит резервированием ресурса для обеспечения объектов, задач, которые имеют большое значение, при отказе элемента системой осуществляется перераспределение ресурса системы; использование нового ресурса, не задействованного в данный момент в выполнении задач системы и не планируемого для использования в задачах, функциях в ближайшее время. Длительность «ближайшего времени» определяется исходя из задач системы и указаниями должностных лиц, принимающих решение.

В процессе функционирования СБ формируется профиль процесса функционирования СБ, который сравнивается с профилем функционирования СБ. Отличие профилей определяет конфликт в системы. Проверка выполнения соответствия профилей осуществляется с использованием матриц согласования.



Рис. 3. Модель контроля процесса функционирования СБ

согласование цели-требования

	A ₁	A ₂	A ₃	T ₁	T ₂	T _{np}
A ₁	1	0	0	1	1	0
A ₂	0	1	0	1	0	1
A _{sp}	0	0	1	1	1	1
T ₁	1	1	1	1	0	0
T ₂	1	0	1	0	1	0
T _n	0	1	1	0	0	1

согласование функции-задачи

	F ₁	F ₂	F _c	Z ₁	Z ₂	Z _{dp}
F ₁	1	0	0	1	1	0
F ₂	0	1	0	1	0	1
F _{cp}	0	0	1	1	1	1
Z ₁	1	1	1	1	0	0
Z ₂	1	0	1	0	1	0
Z _d	0	1	1	0	0	1

согласование требования-функции

	T ₁	T ₂	T _n	F ₁	F ₂	F _{cp}
T ₁	1	0	0	1	1	0
T ₂	0	1	0	1	0	1
T _{np}	0	0	1	1	1	1
F ₁	1	1	1	1	0	0
F ₂	1	0	1	0	1	0
F _c	0	1	1	0	0	1

согласование задачи-ресурсы

	Z ₁	Z ₂	Z _d	E ₁	E ₂	E _{mp}
Z ₁	1	0	0	1	1	0
Z ₂	0	1	0	1	0	1
Z _{dp}	0	0	1	1	1	1
E ₁	1	1	1	1	0	0
E ₂	1	0	1	0	1	0
E _m	0	1	1	0	0	1

Рис. 4. Матрицы согласования СБ

3. Описание работы и структурная схема реализации

Через запросы в СБ сканером осуществляется выявление отклонений выполнения профиля функционирования СБ – плана СБ.

Сканер – это элемент системы контроля и системы управления безопасностью, предназначенный для формирования запросов и проверки выполнения профилей в системе.

Работа сканера представлена на рис. 5.

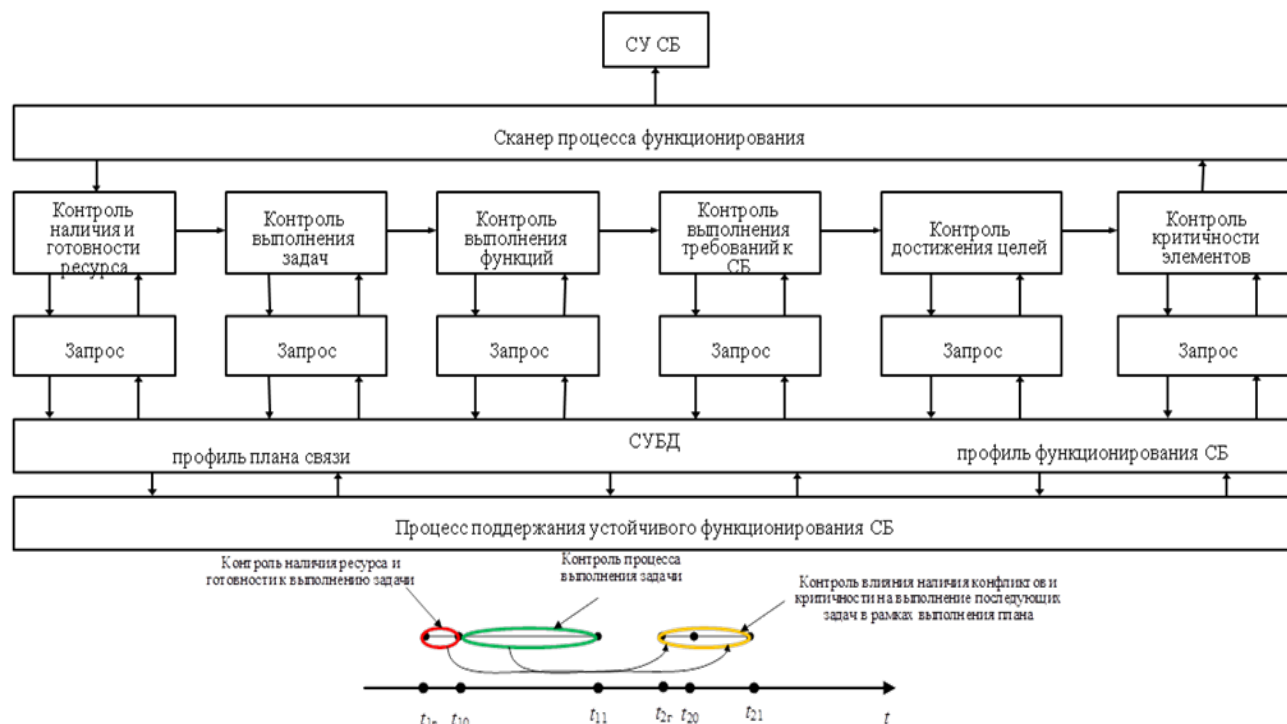


Рис. 5. Структурная схема работы сканера (проверка соответствия профилей)

Процесс контроля функционирования СБ осуществляется через последовательные проверки ресурсов, задач, функций, требований, целей СБ, а также анализа критичности самой системы и ее элементов с помощью запросов в системе [14].

Предикативность контроля обеспечивается проверкой сканером готовности ресурсов к выполнению задач, до момента начала их выполнения, а также оценкой влияния возникающих в системе конфликтов и появляющейся критичности на выполнение последующих задач и функций, а также достижение целевого предназначения объекта контроля. Оценкой возможностей системы и влияния возникающих конфликтов в системе на способность ее выполнить целевое предназначение занимается планировщик [15].

Планировщик – это элемент системы контроля и системы управления безопасностью, предназначенный для оценки возможностей системы безопасности по реализации потребностей системы управления, сравнения профилей.

Возможности системы – это совокупность структурно-функциональных характеристик системы безопасности.

Работа планировщика представлена на рис. 6.

Органы управления (ОУ) формируют команду на изменение плана СБ. Планировщик проверяет необходимость изменения профиля плана СБ и оценивает возможность его выполнения существующей системой.

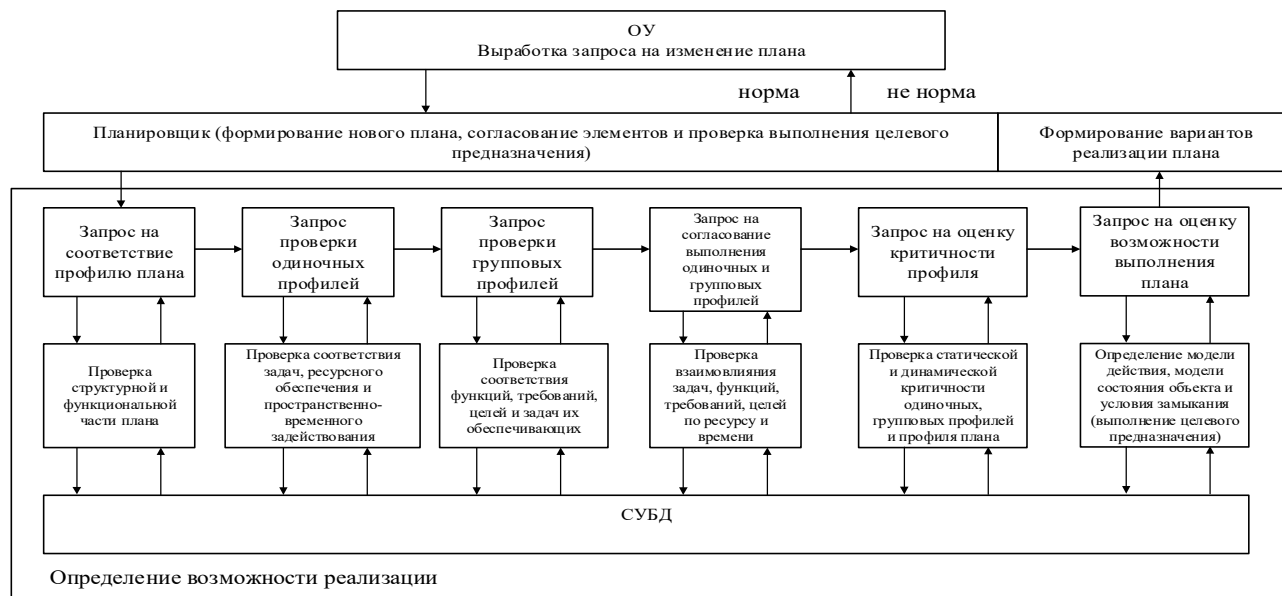


Рис. 6. Структурная схема работы планировщика (соотношение возможностей и потребностей СБ)

Выводы

Таким образом, формирование профиля плана СБ, описывающего систему безопасности, является исходными данными при формировании профиля процесса её функционирования. Кроме этого, в процессе функционирования системы безопасности профиль плана СБ является требованием системы управления к СБ и требует неукоснительного выполнения. Полученный на основании профиля плана СБ профиль функционирования СБ позволяет описывать систему, и в процессе функционирования может использоваться системой контроля для выявления нарушенных или невыполняющихся задач, функций, требований и целевого предназначения системы, а также дает информацию о ресурсном обеспечении и связях между элементами системы безопасности. Кроме этого результатом контроля выполнения профиля функционирования СБ является количественная оценка выполняемых функций и задач СБ, т. е. ее функциональной устойчивости. Предикативный контроль и автоматизация процесса выявления отклонений между профилем плана СБ и профилем функционирования СБ позволяет прогнозировать возникающие нарушения в системе и своевременно на них реагировать.

Литература

1. Бабенко А. А., Козунова С. С. Модель профиля угроз информационной безопасности // НБИ технологии. 2018. Т. 12. № 1. С. 6-11.
2. Нечепуренко А. П., Суетин А. И., Муртазин И. Р., Лаута О. С. Модели интеллектуальных воздействий // Региональная информатика и информационная безопасность. 2017. С. 144-145.
3. Kotenko I., Saenko I., Lauta O., Karpov M. *Methodology for management of the protection system of smart power supply networks in the context of cyberattacks*. Energies. 2021. V. 14. No. 18. Pp. 1-37. DOI 10.3390/en14185963.
4. Коцыняк М. А., Карпов М. А., Лаута О. С., Дементьев В. Е. Управление системой обеспечения безопасности информационно-телекоммуникационной сети на основе алгоритмов функционирования искусственной нейронной сети // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 4. С. 3-10.

5. Бурлов В. Г. Основы моделирования социально-экономических и политических процессов. СПб.: Факультет комплексной безопасности, СПбГПУ. 2007. 265 с.
6. Лепешкин О. М., Остроумов О. А., Синюк А. Д. Систематизация основ методологии синтеза критической информационной инфраструктуры Российской Федерации // Военная мысль. 2021. № 8. С. 109-114.
7. Лепешкин О. М., Шуравин А. С., Пермяков А. С., Зройчиков П. С., Шимаров Е. В. Модель контроля информационной безопасности распределенной сети связи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 12. С. 250-255.
8. Остроумов О. А. Методика обеспечения функциональной устойчивости системы связи // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2022. Вып. 1. С. 3-12.
9. Остроумов О. А. Проблема обеспечения функциональной устойчивости систем критически важных объектов // Электросвязь. 2022. № 1. С. 14-18.
10. Лепешкин Е. О. Организация и систематизация выполнения многокомпонентных задач // Нейрокомпьютеры и их применение. XVII Всероссийская научная конференция. Тезисы докладов. 2019. С. 127-129.
11. Невский А. Ю., Грачева Д. О. Проектирование профиля защиты и задания по безопасности для автоматизированной системы в защищенном исполнении // Цифровая трансформация: тенденции и перспективы. Сборник трудов I Международной научно-практической конференции / Под ред. Н. Л. Кетовой и М. Т. Заргарян. Москва. 2022. С. 239-244.
12. Остроумов О. А., Лепешкин Е. О., Набойченко С. А., Остроумов М. А. Методический подход определения профиля функционирования системы безопасности // Нейрокомпьютеры и их применение. Тезисы докладов XX Всероссийской научной конференции. Москва, 2022. С. 112-113.
13. Худайназаров Ю. К., Лепешкин Е. О. Обобщенный алгоритм мониторинга информационной безопасности инфотелекоммуникационной сети // Нейрокомпьютеры и их применение. XVIII Всероссийская научная конференция. Тезисы докладов. 2020. С. 186-188.
14. Груздев Д. А., Закалкин П. В., Кузнецов С. И., Тесля С. П. Мониторинг информационно-телекоммуникационных сетей // Труды учебных заведений связи. 2016. Т. 2. № 4. С. 46-50.
15. Лепешкин О. М., Остроумов О. А., Черных И. С. Система мониторинга и контроля функционального состояния критически важных объектов и объектов критической информационной инфраструктуры // Нейрокомпьютеры и их применение. Сборник тезисов докладов XIX Всероссийской научной конференции. Москва, 2021. С. 240-243.

References

1. Babenko A.A., Kozunova S.S. *The model of information security threat profile of corporate information system*. NBI technologies. 2018. Vol. 12. No. 1. Pp. 6-11. (in Russian).
2. Nechepurenko A.P., Suetin A.I., Murtazin I.R., Lauta O.S. *Models of intellectual influences*// Regional informatics and information security. 2017. Pp. 144-145. (in Russian).
3. Kotenko I., Saenko I., Lauta O., Karpov M. *Methodology for management of the protection system of smart power supply networks in the context of cyberattacks*. Energies. Vol. 14. No. 18. 2021. Pp.1-37. DOI 10.3390/en14185963.
4. Kotcyniak M.A., Karpov M.A., Lauta O.S., Dementiev V.E. *Control of the info-telecommunication network security system by means of an artificial neural network algorithm*. Proceedings of Tula State University. Technical sciences. 2020. No. 4. Pp. 3-10. (in Russian).
5. Burlov V.G. *Fundamentals of modeling socio-economic and political processes*. St. Petersburg: Faculty of Integrated Security, SPBPU. 2007. 265 p. (in Russian).
6. Lepeshkin O. M., Ostroumov O. A., Sinyuk A.D. *Systematizing the methodology basics of the rf critical information infrastructure synthesis*. Military thought. 2021. No. 8. Pp. 109-114. (in Russian).
7. Lepeshkin O. M., Shuravin A. S., Permyakov A. S., Zroychikov P. S., Shimarov E. V. *Distributed communication network information security monitoring model*. Izvestiya Tula State University. Technical sciences. 2020. No. 12. Pp. 250-255. (in Russian).
8. Ostroumov O.A. *Procedure for providing functional stability of the communication system*. Radio electronics issues. Ser. Television technology. 2022. Issue 1. pp. 3 -12. (in Russian).
9. Ostroumov O.A. *Problem of ensuring the functional stability of critical objects systems*. Telecommunication. 2022. No. 1. Pp. 14-18. (in Russian).

10. Lepeshkin E.O. *Organization and systematization of multi-component tasks*. Neurocomputers and their application. XVII All-Russian Scientific Conference. Abstracts of reports. 2019. Pp. 127-129. (in Russian).
11. Nevsky A.Yu., Gracheva D.O. *Designing a protection profile and security tasks for an automated system in a protected design*. Digital transformation: trends and prospects. Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference/ Edited by N.L. Ketoeva and M.T. Zargaryan. M. 2022. Pp. 239-244. (in Russian).
12. Ostroumov O.A., Lepeshkin E.O., Naboichenko S.A., Ostroumov M.A. *Methodological approach to determining the profile of SB functioning*. Neurocomputers and their application. Abstracts of the XX All-Russian Scientific Conference. M. 2022. Pp. 112-113. (in Russian).
13. Khudainazarov Yu.K., Lepeshkin E.O. *Generalized algorithm for monitoring information security of an infotelecommunication network*. Neurocomputers and their application. XVIII All-Russian Scientific Conference. Abstracts of reports. 2020. Pp. 186-188. (in Russian).
14. Gruzdev D.A., Zakalkin P.V., Kuznetsov S.I., Teslya S.P. *Monitoring of information and telecommunication networks*. Proceedings of educational institutions of communications. 2016. Vol. 2. No. 4. Pp. 46-50. (in Russian).
15. Lepeshkin O. M., Ostroumov O. A., Chernykh I. S. *System of monitoring and control of the functional state of critical objects and objects of critical information infrastructure*. Neurocomputers and their application. Collection of abstracts of the XIX All-Russian Scientific Conference. M. 2021. Pp. 240-243. (in Russian).

Статья поступила 11 июля 2023 г.

Информация об авторах

Дементьев Владислав Евгеньевич – Доктор технических наук, доцент. Главный специалист. Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Область научных интересов: синтез систем защиты информационно-телекоммуникационных сетей. Тел: +7(812)448-96-59. E-mail: demvlad@rambler.ru.

Лепешкин Евгений Олегович – Инженер. ПАО "Интелтех". Область научных интересов: формирование профилей процессов функционирования систем безопасности сложных технических систем. Тел: +7(812)448-19-01. E-mail: lepeshkin2016@yandex.ru.

Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д. 8.

Formation model of security system functioning profile of project

V. E. Dementiev, E. O. Lepeshkin

Annotation. Problem statement: article presents a formation model of security system functioning profile, which allows to implement requirements of security system in development of project. Application of presented model will allow, based on use of security system profile, to control and determine criticality of coordination of security requirements for project elements, identify conflicts and eliminate them, as well as ensure stability of security system during design and implementation of all required restrictions, functions and tasks. **Purpose** of work is to build formation model of security system functioning profile during development of project. Work uses **scientific and methodological apparatus** of system analysis. **Novelty** of work consists in a systematic approach to determining functional state of security system of project, taking into account coordination of requirements, identification and elimination of conflicts of elements of security system. **Result:** formation model of security system functioning profile of project has been obtained, characteristics and conditions for ensuring functioning of required project security system have been identified. **Practical relevance:** possibility of using obtained model to control and bring to required state of functioning of security system during project development.

Keywords: security system functioning profile, design management system, control, criticality, regulations, approval matrices.

Information about the authors

Vladislav Evgenevich Dementiev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor. Chief Specialist. Public Joint Stock Company "Information Telecommunication Technologies" (PJSC "Inteltech"). Field of research: Synthesis of information and telecommunication network protection systems. Tel:+7(812)448-96-59. E-mail:dem-vlad@rambler.ru.

Evgeny Olegovich. Lepeshkin – Engineer. PJSC "Inteltech". Field of research: Formation of profiles of processes of functioning of security systems of information and telecommunication networks. Tel:+7(812)448-19-01. E-mail: lepehkin2016@yandex.ru.

Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street 8.

Для цитирования: Дементьев В. Е., Лепешкин Е. О. Модель формирования профиля функционирования системы безопасности проекта // Техника средств связи. 2023. № 2 (262). С. 86-96. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-2-86-96.

For citation: Dementiev V. E., Lepeshkin E. O. Formation model of security system functioning profile of project. Means of Communication Equipment. 2023. No. 2 (162). Pp. 86-96. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-2-86-96 (in Russian).

ПЕРЕЧЕНЬ НАУЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ,
паспорта которых соответствуют тематическому содержанию журнала
*В соответствии с номенклатурой, утвержденной приказом министерства науки
и высшего образования РФ от 24 февраля 2021 г. N 118 и рекомендацией президиума ВАК
N 15/1-нс от 28 мая 2021 г.*

Естественные науки:	1.2. Компьютерные науки и информатика:
	1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки).
Технические науки:	2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь:
	2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения (технические науки);
	2.2.14. Антенны, СВЧ устройства и их технологии (технические науки);
	2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций (технические науки).
	2.3. Информационные технологии и телекоммуникации:
	2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки);
	2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки);
2.3.6. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки).	
Военные науки:	6.2 Военно-технические науки
	6.2.1. Вооружение и военная техника. Комплексы и системы военного назначения (технические науки);
	6.2.4. Системный анализ, моделирование боевых действий и систем военного назначения, компьютерные технологии в военном деле (технические науки);
	6.2.5. Эксплуатация и восстановление вооружения, техническое обеспечение (технические науки);
	6.2.11. Военная электроника, аппаратура комплексов военного назначения (технические науки);
6.2.13. Военные системы управления, связи и навигации (технические науки).	

Индексы ГРНТИ:

20.00.00 Информатика.
28.00.00 Кибернетика.
45.00.00 Электротехника.
47.00.00 Электроника. Радиотехника.
47.05.00 Теоретическая радиотехника.
47.41.00 Радиоэлектронные схемы.
47.51.39 Синтез и обработка телевизионных сигналов.
49.00.00 Связь.
49.03.05 Теория обработки сигналов в системах связи.
49.27.00 Система передачи.
49.31.00 Многоканальная связь.
49.39.00 Телефонная связь и аппаратура.
49.43.00 Радиосвязь и радиовещание.
50.00.00 Автоматика. Вычислительная техника.
49.33.35 Надежность сетей связи и защита информации.
50.37.23 Защита от несанкционированного доступа. Физическая защита информации.
50.41.27 Компьютерные вирусы. Антивирусные программы.
81.93.29 Информационная безопасность. Защита информации.
59.00.00 Приборостроение

