

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

Николашин Ю.Л. Генеральный директор ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА:

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА

Будко П.А. (Председатель редколлегии):
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

Курносов В.И. Заместитель генерального директора АО «НИИ «Рубин» по научной работе. Д.т.н., профессор.

Лычагин Н.И. Заслуженный работник высшей школы РФ 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 директора – директор научно-технического центра ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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 электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина) (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. Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники (г. Череповец). К.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

Путин 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.т.н., профессор

**EDITORIAL BOARD CHAIRMAN
– JOURNAL EDITOR-IN-CHIEF:**

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

JOURNAL DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

JOURNAL DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Budko P.A. (Editorial Board Chairman):
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. Director General of JSC "NII" Rubin" in scientific work. 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

Prisyazhnyuk 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 Director General – Director of Scientific and Technical Center of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor. Science Honored Worker of the Russian Federation

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

Bobrovskiy V.I. PJSC «Inteltech» (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

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

Legkov C.E. Military Space Academy of A.F. Mozhaiskiy (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. Saint Petersburg State LETI Electrotechnical University of V.I. Ulyanov (Lenin) (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Makoviyy 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 Higher Military Engineering School of Radio Electronics (Cherepovets). Doctorate of Technical Sciences

Odoevskiy 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

Tsymbal V.A. Branch of the Great Petr RVSN Military Academy (Serpukhov). 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 Technical Sciences, Professor

РЕДАКЦИЯ: Верстка принт-макета: **Мамончикова А.С.**
Дизайн обложки: **Шаутин Д.В.**
Поддержка сетевой версии журнала: **Лебедев Д.А.**
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: intelteh@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 всеююзных 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. 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 декабря 2020 г. Основное содержание издания представляют собой научные статьи и научные обзоры.

СОДЕРЖАНИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Курнос В.И., Лукин К.И. Подход к формированию эксплуатационных требований к элементам сетевых служб системы управления связью в ведомственной телекоммуникационной системе.....	2
Козлов К.В., Кулешов И.А., Сенчуков М.В., Козлова А.К. Об использовании моделей пространственно-информационных структур при разработке систем связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления специального назначения.....	13
Аллакин В.В., Голунов М.В. Анализ научно-методического аппарата удалённого мониторинга технического состояния информационно-телекоммуникационных сетей и систем.....	17
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	
Тележкин В.Ф., Рагозин А.Н., Саидов Б.Б. Построение многокомпонентного прогноза сигналов в АСУ с использованием моделей авторегрессии-скользящего среднего.....	38
Билиятдинов К.З., Красов А.В., Меньяйло В.В. Модель устойчивости автоматизированной системы управления.....	43
ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ	
Дорогов А.Ю., Подранок Е.П. Имитационная модель и результаты моделирования протокола маршрутизации O2M для низкоскоростных мобильных радиосетей.....	51
Машкин А.И., Машкин И.В., Шаптала В.С. Повышение помехоустойчивости OFDM модема в канале с замираниями.....	60
Дяченко А.Н. Построение территориально-распределённого испытательного комплекса для дистанционного проведения трассовых испытаний.....	65
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	
Ковцур М.М., Кириллов Д.И., Михайлова А.В., Потемкин П.А. Разработка методики внедрения машинного обучения для повышения информационной безопасности web-приложения.....	74
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
Филиппов В.П. Неконкурентные закупки радиоэлектронного оборудования предприятиями госкорпорации «Ростех».....	87
Для авторов	96
Список научных статей, опубликованных в журнале «Техника средств связи» в 2020 году	97

CONTENTS COMMUNICATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Kurnosov V.I., Lukin K.I. An approach to the formation of operational requirements for the elements of network services of the communication management system in the departmental telecommunications system.....	2
Kozlov K.V., Kuleshov I.A., Senchukov M.V., Kozlova A.K. About use of models of spatially-information structures by system engineering of communication, radio engineering management and automation of management of a special purpose.....	13
Allakin V.V., Goryunov M.V. Analysis of the scientific and methodological apparatus for remote monitoring of the technical condition of information and telecommunication networks and systems.....	17
CONTROL SYSTEMS	
Telezhkin V.F., Ragozin A.N., Saidov B.B. Construction of forecast of signals in an automated control system using models of autoregression-sliding average.....	38
Biliatdinov K.Z., Krasov A.V., Meniailo V.V. Model of stability of automated control system.....	43
TRANSMISSION, RECEPTION AND PROCESSING OF SIGNALS	
Dorogov A.Yu., Podranyuk E.P. Simulation model and simulation results of the O2M routing protocol for low-speed mobile radio networks.....	51
Mashkin A.I., Mashkin I.V., Shaptala V.S. Improving the noise immunity of OFDM modem in a fading channel.....	60
Dyachenko A.N. Construction of a geographically distributed test complex for remote route testing.....	65
INFORMATION SECURITY	
Kovtsur M.M., Kirillov D.I., Mikhailova A.V., Potemkin P.A. Development of a machine learning implementation methodology to increase the information security of a web application.....	74
ADVANCED RESEARCHES	
Filippov V.P. Non-competitive purchases of electronic equipment by Rostec state corporation enterprises.....	87
For authors	96
List of scientific articles published in the «Means of communication equipment» journal in the 2020 year	97

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 621.391

Подход к формированию эксплуатационных требований к элементам сетевых служб системы управления связью в ведомственной телекоммуникационной системе

Курносков В.И., Лукин К.И.

***Аннотация.** Рассматривается подход к формированию эксплуатационных требований к элементам ведомственной телекоммуникационной системы на основе исследования модели образования сетевой службы в интересах обеспечения взаимодействия элементов ведомственной телекоммуникационной системы при использовании различных телекоммуникационных технологий. Представлены аналитические соотношения, описывающие характер функционирования основных плоскостей ведомственной телекоммуникационной системы, которые позволяют с достаточной степенью точности решать задачи формирования требований к основным параметрам структур сетевой службы систем сигнализации и входящих в структуру ведомственной телекоммуникационной системы.*

***Ключевые слова:** ведомственная телекоммуникационная система, сетевая служба, система сигнализации, коммутируемая сигнальная единица, сигнально-управляющий поток, эксплуатационные требования.*

В [1] показано, что эффективность функционирования системы управления связью (СУС) во многом определяется порядком построения и эксплуатацией ее подсистем, среди которых особое значение отводится системам сигнализации. В общем случае, на транспортной сети ведомственной телекоммуникационной системы (ВТКС), посредством ее системы сигнализации (СС) в интересах СУС, будет производиться обмен сигнально-управляющими сигналами, содержащими информацию о состоянии коммутационных центров, объемах выполненных сетевых услуг, ориентированных и неориентированных на соединения, поддерживающие процессы взаимосвязи между сетями доступа с различными технологиями функционирования.

Анализ [2] показал, что одна из характерных особенностей функционирования СС на мультисервисных сетях заключается в реализации пакетного обмена сигнально-управляющей информацией, посредством сигнальных единиц (СЕ), к передаче и доставке которых предъявляются жесткие требования.

Данное обстоятельство, с учетом развитой архитектуры общеканальной сигнализации (ОКС) позволяет рассмотреть целесообразность ее использования в качестве единой сети обмена данными СУС ВТКС. Поэтому, основная цель дальнейших рассуждений будет связана с исследованиями, направленными на решение этой задачи.

В рамках решения поставленной задачи рассмотрим модель образования сетевой службы в интересах обеспечения взаимодействия элементов ВТКС при использовании различных телекоммуникационных технологий, в которых доставка сигнально-управляющей информации в интересах СУС будет осуществляться посредством коммутируемых сигнальных единиц (КИЕ_с) (рис. 1).

Так как в мультисервисной ВТКС коммутационные узлы пунктов сигнализации (ПС) могут устанавливаться на всех сетевых узлах, центрах коммутации (ЦК), то это позволяет для динамической маршрутизации КИЕ_с использовать третий уровень подсистемы передачи информационных сообщений (ИС) (МТР) или подсистему управления сквозными соединениями (СССР) [3]. Исследования показывают, что в этом случае возможно использование всех четырех классов протоколов физического или логического соединения (ФЛС), в том числе с контролем последовательности и управлением потоком КИЕ_с. Таким

образом, в интересах СУС в транспортной сети ВТКС на основе СС можно построить унифицированную сеть обмена данными.

Одним из основных принципов организации построения сети обмена данными СУС является квазисвязанный режим (рис. 2). При его использовании для каждого передаваемого между пользователями сигнального потока формируется отдельное физическое или логическое соединение в сетевой службе. К достоинствам указанного подхода относится возможность разграничения пользовательского доступа, что позволяет реализовать выполнение неоднородных требований к качеству услуг, поддерживаемых СУС ВТКС.

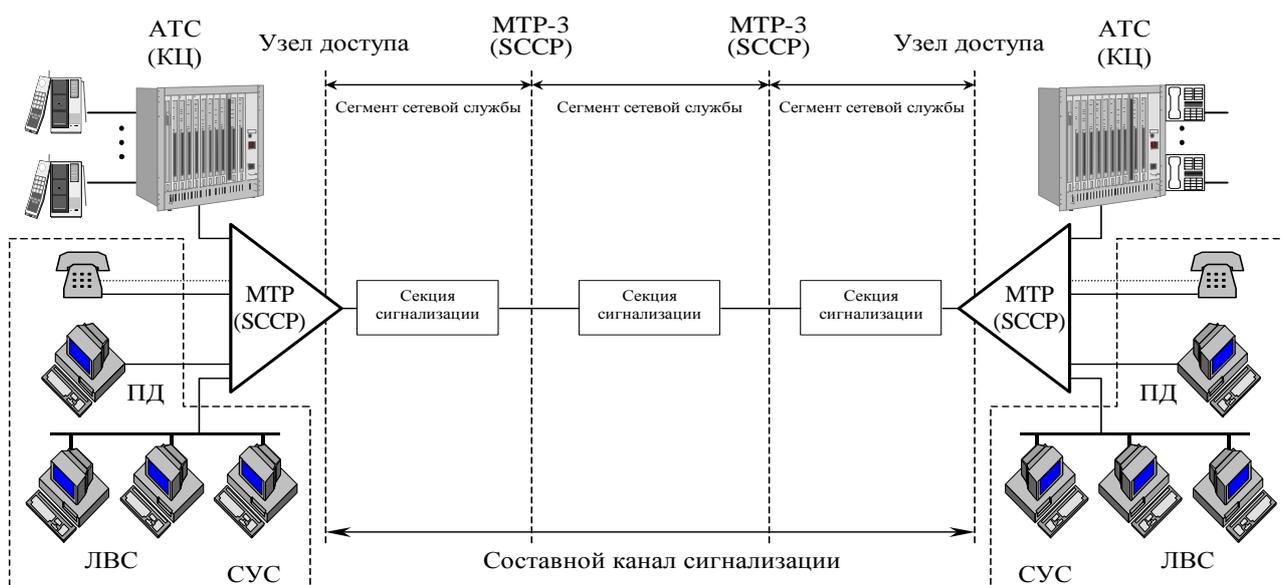


Рис. 1. Вариант составного канала сетевой службы СС ВТКС

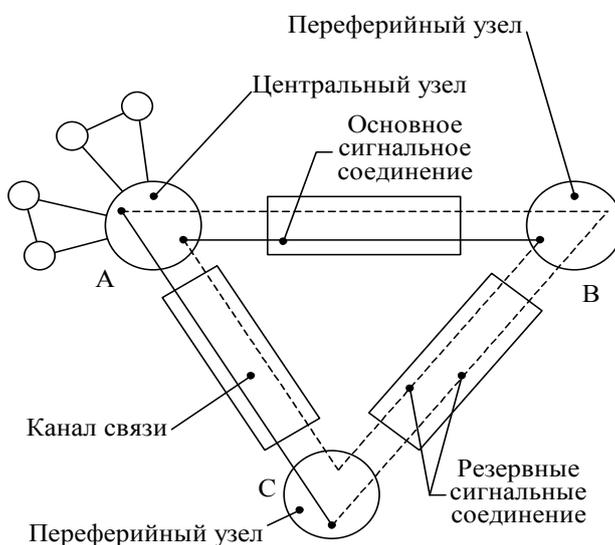


Рис. 2. Сигнальные соединения в сетевой службе СС ВТКС

Для повышения надежности доставки КИЕ_с в такой сети обмена данными будет использоваться альтернативная маршрутизация, позволяющая автоматически переключать поток сигнально-управляющих сообщений на резервное соединение при отказе основного. В этом случае, резервное и основное соединения будут проходить по разным физическим линиям ВТКС.

Управление потоками сигнально-управляющих сообщений в такой сети обмена данными основано на задании для каждого сигнально-управляющего соединения согласованной скорости передачи сообщений (CIR) [4]. В этом случае, CIR будет определяться двумя характеристиками: согласованным объемом КИЕ_с, необходимым для передаваемой информации (V_c); избыточным (дополнительным) объемом КИЕ_с (V_e), соответствующим максимальному числу битов, превышающих значение V_c , которые могут быть переданы по данному сигнальному соединению, но без обеспечения гарантии их передачи. Это позволит передавать по сигнальным соединениям неоднородный поток сигнально-управляющих сообщений различной важности, срочности и длины. Однако, в настоящее время, в теоретическом плане, многие вопросы для такой комбинированной сети не исследованы. Поэтому целесообразно провести исследования такой специализированной сети в интересах ВТКС и сделать оценку ее вероятностно-временных характеристик (ВВХ).

Характер функционирования СС и СУС показывает, что в общем случае, поток сигнально-управляющих сообщений, поступающих в сеть обмена данными, будет являться неоднородным, и для его описания необходимо задавать как ВВХ (функции распределения длин интервалов между моментами поступления сигнально-управляющих сообщений и параметров этого распределения), так и характеристики важности, срочности и длины сигнально-управляющих сообщений.

В общем случае, среднее время передачи сообщений посредством КИЕ_с между двумя оконечными пунктами сигнализации может быть определено по выражению:

$$\bar{T}_{cy} = \bar{T}_{cy_a} + \sum_{i=1}^{n+1} (\bar{Q}_t + \bar{Q}_a), \quad (1)$$

где \bar{T}_{cy_a} – среднее время передачи сообщения при отсутствии искажения в КИЕ_с; n – количество транзитных пунктов сигнализации (ТПС); \bar{Q}_t – средняя задержка, вызванная образованием очередей сигнально-управляющих сообщений по причине их искажения в КИЕ_с; \bar{Q}_a – средняя задержка, вызванная образованием очередей сигнально-управляющих сообщений при отсутствии их искажений в КИЕ_с;

$$\bar{T}_{cy_a} = \bar{T}_{ms} + \sum_{i=1}^{n+1} \bar{T}_{p_i} + \sum_{i=1}^n \bar{T}_{cs_i} + \bar{T}_{mr}, \quad (2)$$

где \bar{T}_{ms} – среднее время передачи сообщений в исходящем пункте СС или СУС; \bar{T}_{cs} – среднее время передачи сообщений в транзитном пункте СС; \bar{T}_{mr} – среднее время приема сообщений в пункте назначения; \bar{T}_p – среднее время распространения КИЕ_с по звену сигнализации.

Анализ [2] показал, что параметры составляющих (1) и (2), во многом определяются качеством цифрового канала, длиной КИЕ_с, сложностью протоколов, реализующих обмен КИЕ_с в звене сигнализации.

Вероятность своевременной доставки сигнальных сообщений может быть оценена с использованием многофазовой модели массового обслуживания. При этом, для типового варианта сигнального соединения (рис. 1) выражение, позволяющее оценить вероятность своевременной доставки сообщений в специализированной сети обмена данными СС и СУС ВТКС, может быть представлено в виде:

$$P(t \leq t_{дон}) = P_f^2 \prod_{i=1}^n P_i, \quad (3)$$

где P_f – вероятность своевременной обработки сообщения на устройстве сигнально-управляющего доступа; P_i – вероятность своевременной обработки сообщения на i -ом коммутационном устройстве ПС или ТПС.

Исследования [5] показали, что характер функционирования сети обмена данными СУС на основе СС будет во многом определяться качеством цифровых каналов передачи транспортной сети ВТКС. Так, например, зависимость длины СЕ от качества канала связи может быть найдена на основе выражения:

$$L'(P_{\text{ош}}) = \frac{M[\tau_0] \nu}{1 + M[\tau_0] P_{\text{ош}} \nu}, \quad (4)$$

где ν – скорость передачи КИЕ_с; $M[\tau_0]$ – математическое ожидание КИЕ_с в сети обмена данными СС и СУС, рассчитывается по формуле:

$$M[\tau_0] = \tau_u / (1 - \rho)(1 - Q), \quad (5)$$

где Q – вероятность ошибки в КИЕ_с; τ_u – длительность КИЕ_с; $\rho = d/\eta$ – приведенная плотность потока сигнально-управляющих сообщений.

Вероятность появления в КИЕ_с длиной из n элементов j и более ошибок для канала с независимыми ошибками может быть найдена из приближенного соотношения [6]:

$$Q(j \leq n) = \sum_{i=j}^n (nP_3)^i \exp(-nP_3) / i!, \quad (6)$$

где P_3 – вероятность битовой ошибки в цифровом канале.

В общем случае, верхняя граница вероятности появления j ошибок в КИЕ_с длиной из n (например, для СС с общим каналом сигнализации от 1 до 274 байт) элементов будет определяться выражением [6]:

$$Q = P_{\text{верхн}}(j \in n) = C_n^j P_3 (1 - P_3)^{n-j}, \quad (7)$$

где $C_n^j = \frac{n!}{(n-j)!j!}$.

Тогда, с учетом вышеизложенного, среднее время доставки данных, в зависимости от приведенной плотности потока заявок может быть представлено в виде:

$$M[\tau_0] = (\tau_u + \Delta\tau_u) R / (1 - \rho)(1 - Q), \quad (8)$$

где $\Delta\tau_u$ – время передачи сигнально-управляющей информации; R – количество КИЕ_с, передаваемых достоверно в одном сеансе.

На основании выражений (6) – (8) построены зависимости возможной длины КИЕ_с от качества канала связи (рис. 3, 4).

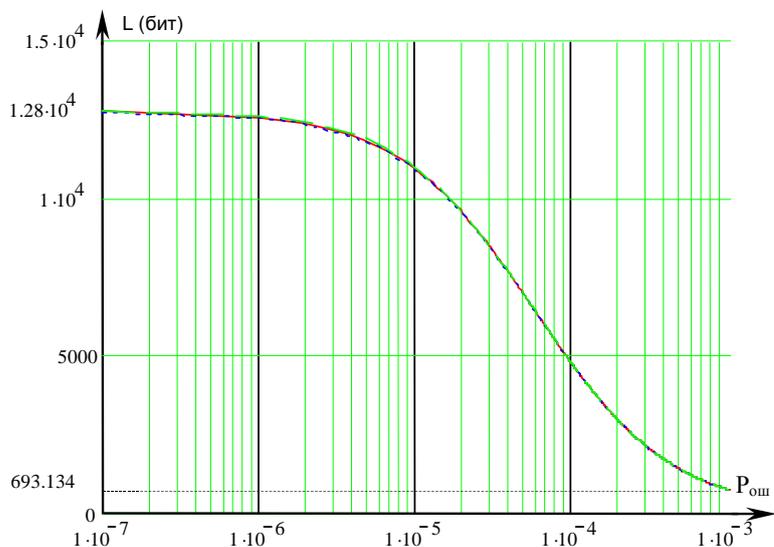


Рис. 3. Зависимость длины КИЕ_с от качества цифрового канала

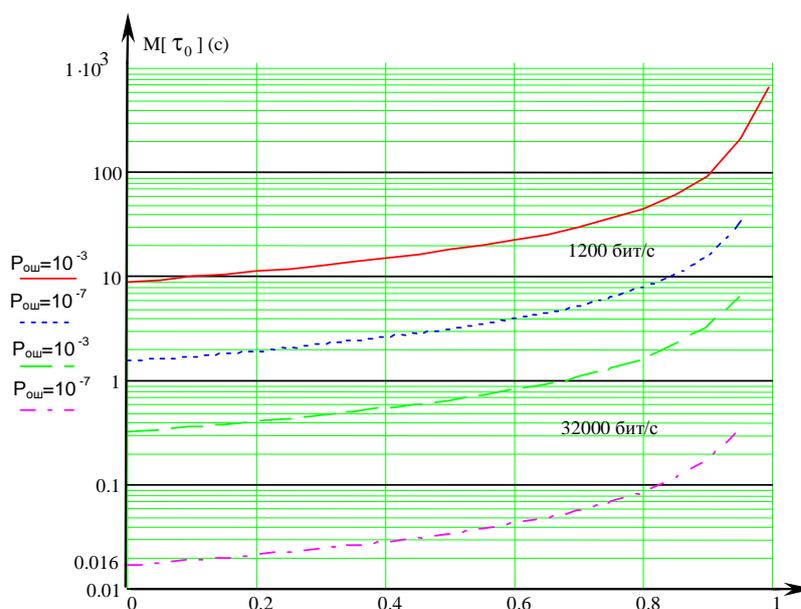


Рис. 4. Зависимость средней длительности сеанса совместной передачи КИЕс речи и данных от приведенной плотности потока заявок

Анализ полученных зависимостей показывает, что при вероятности битовой ошибки $P_{ош} = 10^{-3}$ загрузка канала связи в сетевой службе ВТКС не должна превышать 0,2 от максимально возможной. Данное обстоятельство объясняется возрастающей интенсивностью перезапросов КИЕс, что снижает производительность сети, в целом. Кроме того, как показал анализ функционирования протоколов пакетной передачи с перезапросами, производительность данных протоколов во многом определяется способностью к распознаванию и исправлению ошибок в КИЕс диагностическими процедурами, заложенными в исполнительных устройствах СУС.

Так как в основе диагностических процедур лежат методы обработки измерений, которые, в общем случае, обладают погрешностью, то в результате их проведения могут возникать ошибки 1-го и 2-го рода. Данный вид ошибок до настоящего времени, применительно к функционированию сетевой службы СС, не рассматривался. Поэтому, целесообразно более подробно остановиться на методах борьбы с ними.

В известных источниках [7] основным способом борьбы с ошибками 1-го и 2-го рода предлагается повторная передача КИЕс. Эффективность исправления ошибок при этом оценивается количеством возможных повторений КИЕс. Однако такой подход справедлив для безусловных процедур диагностирования. Для ветвящихся процедур функционирования сетевой службы СС, характерных для современных телекоммуникационных протоколов, необходимо использовать условные алгоритмы диагностирования. В таких алгоритмах появление ошибок 1-го и 2-го рода даже с малой вероятностью может привести к неоднозначным результатам. Это связано с тем, что при условных алгоритмах значимость ошибок 1-го и 2-го рода различна [8]. Ошибки второго рода требуют лишь повторной передачи КИЕс, а ошибки первого рода приводят к закликиванию алгоритмов и, в конечном итоге, к перегрузке сетей.

Исследования [9] показывают, что уменьшение вероятности возникновения ошибок 1-го и 2-го рода может быть реализовано различными методами. При использовании диагностических процедур, построенных на безусловных процедурах поиска причин отказов, для борьбы с ошибками целесообразно применять повторение процедур обмена сигнальными единицами. В этом случае передача КИЕс производится до тех пор, пока однозначно не будет получен положительный результат. При этом количество возможных

повторений пакетов при наличии битовых ошибок рассматривается как геометрически распределенная величина.

Восстановление сигнальных сообщений путем повтора КИЕ_с возможно и для условных процедур. Однако, это не оправданно для всей процедуры целиком, но допустимо для отдельных ветвей дерева принятия решений, в которых ошибки наиболее вероятны.

Используя полученные результаты оценки влияния процедур диагностики по выявлению и исправлению искаженных СЕ на своевременность передачи сигнально-управляющей информацией, можно разработать методику определения эксплуатационных требований к сетям обмена данными СУС, реализованных посредством СС. При этом, определяя эксплуатационные требования к сети сигнализации и сети обмена данными СУС, необходимо исходить из того, что ВВХ по реконфигурации ИНС ВТКС с целью обеспечения информационного обмена ИС в интересах пользователей I, II, III классов является функцией от ВВХ исполнительных устройств.

Исходными данными для решения задачи определения требований к сети обмена данными на основе сетевой службы СС по своевременности передачи ИС (КИЕ), КИЕ_с и пользователей ВТКС являются:

количество ИНС, организуемых в ТКС для I, II и III классов потребителей, соответственно;

количество видов ИС, которые передаются через ВТКС в интересах предоставления услуг потребителям I, II и III классов;

количество СУ в сети;

матрица допустимой связности ВТКС;

матрица связности конфигураций ИНС ВТКС для передачи ИС (КИЕ) при β – методах коммутации (предусмотренных в ВТКС) с требуемым качеством в интересах потребителей I, II и III классов, соответственно, где $\beta = (1, \dots, 6)$;

матрицы длин допустимых путей прохождения ИС через ВТКС, определяемых суммой длин ветвей;

матрицы мощностей ветвей, обеспечивающих передачу различных видов ИС для предоставления услуг в интересах пользователей;

матрицы требований на установления ФЛС, определяемые задаваемыми требованиями;

допустимое число ФЛС в r -м пути для создания ИНС в интересах потребителей I, II, III классов;

число КЦ в r -м возможном пути ИНС, посредством которых СУС может маневрировать ресурсами ФЛС и ФК в ТКС;

число ветвей между КЦ в r -м возможном пути ИНС;

количество типов сигнализации, применение которых возможно в ВТКС;

требования к эксплуатационной надежности ВТКС.

Определенные исходные данные позволяют сформулировать первую частную задачу: найти μ_B , обеспечивающее достижение требуемого значения эксплуатационной надежности $W(J_{ij})$ при минимальном задействовании дополнительных путей установления ФЛС – d в каждом из ИНС:

$$\begin{cases} \mu_B^* : \min_{\substack{i \in I \\ j \in J}} d_{ij}(\mu_B); \\ W^I(j_{ij}) \geq K_\Gamma^I, W^{II}(j_{ij}) \geq K_\Gamma^{II}, W^{III}(j_{ij}) \geq K_\Gamma^{III}, \end{cases} \quad (9)$$

где $K_\Gamma^I, K_\Gamma^{II}, K_\Gamma^{III}$ – нормированные требования, $W^I(j_{ij}), W^{II}(j_{ij}), W^{III}(j_{ij})$ – определяются исходя из необходимого количества независимых маршрутов доставки сигнально-управляющей информации.

Так, поток заявок на установление связности ИНС ВТКС может быть найден с использованием метода рандомизации [7]:

$$\lambda_0(J_{ij}) = \sum_{i=0}^{L_1} i \binom{L_1}{i} P_{L_1}^i (1 - P_{L_1})^{L_1-i} = L_1 P_{L_1}, \quad (10)$$

где $L_1 = \sum_{r=1}^{L+d} (2\gamma_r + 3)$;

$$P_{L_1}(J_{ij}) = \sum_{r=1}^{L+d} ((\gamma_r + 1)P_r(m_{ij}) + (\gamma_r + 2)P_r(n_i)) / L_1, \quad (11)$$

$$P_r(m_{ij}) = \frac{1 + \sum_{i_0=2}^{d_0} \prod_{\gamma_0=1}^{i_0-1} (\gamma_r + 1 - \gamma_0) / \gamma_0}{\sum_{i_0=1}^{d_0} \prod_{\gamma_0=1}^{i_0} (\gamma_r + 2 - \gamma_0) / \gamma_0}, \quad P_r(n_i) = \frac{1 + \sum_{i_0=2}^{d_0} \prod_{\gamma_0=1}^{i_0-1} (\gamma_r + 2 - \gamma_0) / \gamma_0}{\sum_{i_0=1}^{d_0} \prod_{\gamma_0=1}^{i_0} (\gamma_r + 3 - \gamma_0) / \gamma_0},$$

$\gamma^{i_1} = \frac{1}{T_{B_{i_1}}}$, $T_{B_{i_1}}$ определяется задаваемыми требованиями, $i_1 = (I, II, III)$.

Все параметры, входящие в (11), определены. Поэтому, возможно решение задачи (9). Задача решается последовательно для ИНС III, II и I класса, так как $d_1^{III} > d_1^{II} > d_1^I$. Важно отметить, что и $\gamma_r^{III} > \gamma_r^{II} > \gamma_r^I$, а, следовательно, $L_1^{III} > L_1^{II} > L_1^I$. Тогда начальным условием решения задачи для потребителей II и I класса является $d^{II} = L^{III} + d^{III}$, $d^I = L^{III} + d^{III} + d^{II}$, соответственно. Если μ_B^{III} удовлетворяет условию $W^{II}(J_{ij}) \geq K_r^{II}$ и $W^I(J_{ij}) \geq K_r^I$, то величина μ_B^{III} есть требование для всех V_{1r} . Если выполняется условие $\mu_B^I > \mu_B^{II} > \mu_B^{III}$, то к исполнительным устройствам, входящим в данные ИНС, должны быть предъявлены наиболее жесткие требования. Поиск оптимальных μ_B может быть реализован одним из методов динамического программирования, а для поиска d^I, d^{II}, d^{III} можно применить, в силу их целочисленного характера, метод последовательного анализа вариантов. В результате, получаем $\vec{\mu}_B^* = [\mu_{B_1}^*, \mu_{B_2}^*, \dots, \mu_{B_N}^*]^T$ и $d_1^* = \|d_{ij}^*\|$. Из полученных решений определяются требования к V_{1r} КАПС КЦ, реализующим функции СУС по обеспечению реконфигурации ВТКС при выходе из строя элементов сети. Тогда в качестве требований к V_{1r} КАПС (коллективного пользования, пакетной обработки, работы в реальном масштабе времени и т. п.) СУС выбираются наиболее жесткие, поскольку все КЦ должны быть максимально унифицированы из-за начальной неопределенности их размещения в ВТКС и возможных изменений задач в динамике работы последней, возложенных на конкретный КЦ:

$$\mu_{BCT}^* = \max_{i \in N} \mu_{B_i}^*, \quad (12)$$

где N – количество КЦ, развертываемых в ВТКС.

Найденная величина μ_{BCT}^* позволяет определять требования к среднему времени, необходимому СС и СУС для обслуживания заявок на устранение нарушений связности конфигураций ВТКС. Полученные характеристики СС и СУС обеспечат структурную надежность ВТКС, так как направлены на поддержание связности ИНС. Однако они не отражают сам характер функционирования СС и СУС, ВВХ их элементов. Поэтому на следующем этапе целесообразно обосновать требования к элементам СС и СУС по функциональной надежности (ФН). Для этого на первом этапе необходимо определить требования к путям прохождения ИС каждого из классов потребителей:

$$W_{ri}^* (J_{ij}) = \left(1 - \left(\frac{1 - K_{\Gamma}^*}{P_r} \right) \right)^{1/(L+d^*)}, \quad (13)$$

где K_{Γ}^* – требуемые значения ФН по передаче различных видов ИС потребителей I, II, III классов в ИНС.

Анализ (13) показывает, что если принять в каждом пути вес КЦ и ветвей ВТКС одинаковым в обеспечении ФН пути прохождения ИС, то требования к ним могут быть предъявлены в соответствии с выражением:

$$W_{mij}^* (J_{ij}) = W_{КЦi}^* (J_{ij}) = \left(1 - W_{ri}^* (J_{ij}) \right)^{1/(2\gamma_r+3)}. \quad (14)$$

Это позволяет найти требования к ФН пучков ФК:

$$W_{rjl}^* (h_{ij}) = \left(1 - W_{mij}^* (J_{ij}) \right)^{1/\chi}. \quad (15)$$

Так как требования к доставке ИС для разных классов потребителей различны, то задача должна решаться $d_1 = d_1^I + d_1^{II} + d_1^{III}$ раз. В результате получим $d_1^I + d_1^{II} + d_1^{III}$ матриц требований к пучкам ФК для всех конфигураций ИНС ВТКС.

Элементами данных матриц будут требования к W_{rjl}^* , входящих в m_{ij} ветвь. Кроме того, образуется $d_1^I; d_1^{II}; d_1^{III}$ векторов требований к КЦ $W_{КЦi}^* (J_{ij})$. Тогда задача по определению требований по ФН к пучкам ФК и КЦ будет состоять в выборе их максимального значения:

$$\begin{cases} W_{КЦi}^* : \max_{i \in N} W_{КЦij}^* (J_{ij}), \\ W_{rjl}^* = \max_{\substack{i \in N \\ j \in N}} W_{rjl}^* (h_{ij}). \end{cases} \quad (16)$$

Решение задачи (16) позволяет обосновать требования к эксплуатационной надежности пучков ФК и составляющих их цифровых каналов связи для передачи различных видов ИС в интересах потребителей I, II, III классов. Данная задача решается с учетом передачи в ВТКС сигнально-управляющих потоков, обеспечивающих прохождение требуемых объемов различных видов $d_2^I, d_2^{II}, d_2^{III}$ ИС:

В этом случае необходимо учитывать тот факт, что часть ресурсов сети выделяется для передачи сигнально-управляющих потоков посредством пользовательской (ПСС) и межстанционной систем сигнализации (МСС), относящихся к ИС I класса. В то же время анализ показывает, что с ростом V требования к $K_{ПК}$ ФК уменьшаются, но при этом возрастает величина $E_{v-j}(Z)$. Это свидетельствует о том, что существует оптимальная точка необходимого числа каналов V , измеренных в основном цифровом канале (ОЦК) для обслуживания ИС с требуемым качеством. Тогда задача нахождения оптимального количества ОЦК, необходимого для передачи сигнально-управляющего трафика, решается на основе метода последовательного анализа вариантов [10], применительно к обеспечению выполнения требований по передаче различных видов ИС потребителей I, II и III класса:

$$\begin{cases} K_{ПК}^* : \min_V V (K_{ПК} \cdot P(B_{Vj})), \\ W_{mij}^* \geq W_{mij}^* \end{cases}, \quad (17)$$

где W_{mij}^* определяется из (14), W_{mij} находится по задаваемой модели.

На первом этапе решения, задачи находятся величины $K_{ПКСУ}^*$ и $V_{СУ}^*$ при начальных условиях: $y = 0, y_1 = 0$. На втором этапе решения задачи $y_1 = V_{СУ}^*$, и находятся величины $V_I^*, K_{ПКI}^*$, которые являются начальными условиями для третьего этапа, то есть $y_1 = V_I^*$. На четвертом этапе решается задача окончательного определения $V_{III}^*, K_{ПКIII}^*$ при начальном условии $y_1 = V_{II}^*$. Таким образом, четырехэтапное решение задачи позволяет найти мощность m_{ij} ветви $B_{ij} = V_{III}^*$, а также ее распределение между потребителями I, II, и III классов: $V_{III}^* > V_{II}^* > V_I^* > V_{СУ}^*$. При необходимости нахождения мощности каналов, выделяемых в каждом классе для передачи ИС одного из видов, можно воспользоваться выражением

$$V_{b_2}^* = Z_{ij} \times V^* / \sum_{b_2=1}^{d_2} Z_{ijb_2} \quad (18)$$

КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ЧАСТНЫХ ЗАДАЧ

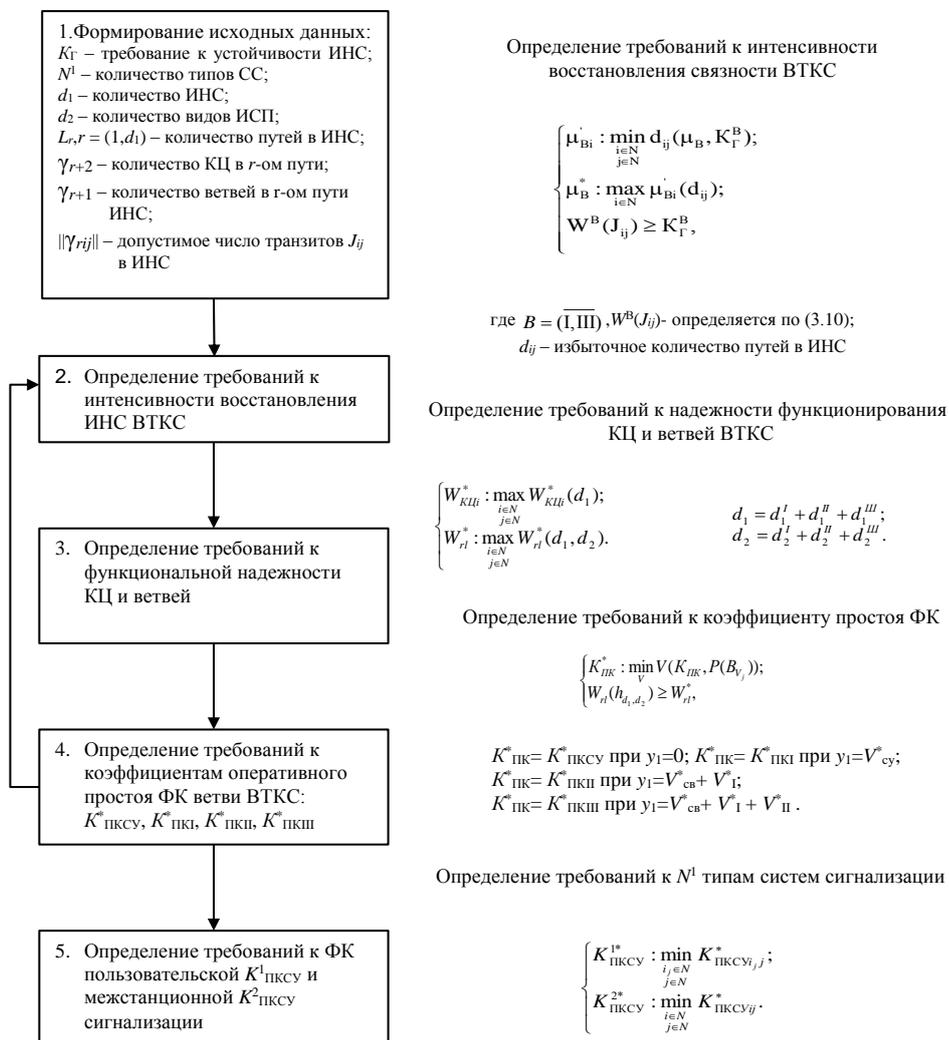


Рис. 5. Общая последовательность определения требований к показателям своевременности и эксплуатационной надежности СС

Таким образом, решая задачу для всех ветвей сети, находим значения $\|K_{ПКij}^*\|_{СУ}$, $\|K_{ПКij}^*\|_I$, $\|K_{ПКij}^*\|_{II}$, $\|K_{ПКij}^*\|_{III}$. Учитывая, что ПСС и МСС могут применяться для обмена

сигнально-управляющим потоком между различными КЦ, по каждому классу ИС выбираются для него самые жесткие требования

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{\text{ПКСУ}}^{1*} : \min_{\substack{i_j \in N \\ j \in N}} K_{\text{ПКСУ}i_j}^* \\ K_{\text{ПКСУ}}^{2*} : \min_{\substack{i \in N \\ j \in N}} K_{\text{ПКСУ}ij}^* \end{array} \right. \quad (19)$$

где i_j – ветви ВТКС, по которым N_{i_j} потребители подключаются к КЦ _{j} ее транспортной сети, используя ПСС; $K_{\text{ПКСУ}}^{1*}$ – требования к коэффициенту оперативного простоя ФК ПСС; $K_{\text{ПКСУ}}^{2*}$ – требования к коэффициенту оперативного простоя ФК МСС.

Общая последовательность решения задачи (19) приведена на рис. 5. Ее решение позволяет задавать требования к основным параметрам структур сетевой службы систем сигнализации, реализующих ПСС и МСС, и входящих в структуру ВТКС. Следует отметить, что определенные значения $V_{\text{ш}}^* > V_{\text{СУ}}^*$ могут быть использованы в ходе выбора рациональной структуры ПСС и МСС в сетевой службе СС, так как в интересах сети обмена данными СУС ВТКС может использовать любой информационный ФК. Кроме того, поскольку $K_{\text{ПКСУ}}^*$ зависит от $T_{\text{ОС I}}$ (требования по наработке на сбой ПСС, МСС для I класса потребителей), то несложно найти требуемое значение среднего времени восстановления элементов ПСС, МСС.

Выводы

Разработанные аналитические соотношения, описывающие характер функционирования основных плоскостей ВТКС, позволяют с достаточной степенью точности решать задачи только для некоторых стационарных условий. Учет динамики функционирования ВТКС, влияния внешних и внутренних дестабилизирующих факторов на характер целевого применения ВТКС можно обеспечить посредством имитационного моделирования. Поэтому направлением дальнейших исследований будет являться рассмотрение возможности оперативной коррекции расчетных результатов посредством имитационного моделирования.

Литература

1. Кузнецов В.Е., Лихачев А.М. Теоретические и методологические основы построения системы сигнализации объединенной автоматизированной цифровой системы связи. М.: МО РФ, 2001. 411 с.
2. Жигadlo В.Э. Архитектура телекоммуникационных сетей. СПб.: ВУС, 2000. 218 с.
3. Кузнецов В.Е., Курносков В.И. Структура жизненного цикла эволюционного развития телекоммуникационных сетей // Сборник тезисов докладов 53-й НТК НТОРЭС им. А.С. Попова. СПб.: 1998. С.35-36.
4. Гольдштейн Б.С. Сигнализация в сетях связи - М.: Радио и связь, 1997. 317 с.
5. Курносков В.И., Стратьев А.А. Особенности решения задач структурно-сетевой оптимизации сети абонентского доступа // Сборник научных трудов «Сети связи и системы коммутации». - СПб.: Изд-во «ТЕМА», 2000. С. 19-25.
6. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. М.: Альтекс-А, 2004. 384 с.
7. Курносков В.И., Лихачев А.М. Методология проектных исследований и управление качеством сложных технических систем электросвязи. СПб.: Изд-во «ТИРЕКС», 1998. 496 с.
8. Гребенев Д.В., Дворяков В.Е., Кузнецов В.Е. Задачи диагностирования и оценки долговечности на сетях связи // Системы связи. Анализ. Синтез. Управление. Вып.4.- Под ред. В.П. Постюшкова. СПб.: Тема, 2001. 287 с.
9. Бакланов И.А. Измерительные технологии в телекоммуникационных системах. М.: Эко-Трендз, 1998. 183 с.
10. Петрович В.И. Построение логических структур сетей связи, реализующих режимы «доставка» и «соединение», и расчет вероятностей своевременной доставки сообщений // Техника средств связи. Сер. ТПС, Вып. 7. ЦООНТИ «Экос», 1989. С. 3-14.

References

1. Kuznetsov V.E., Likhachev A.M. Theoretical and methodological foundations of the construction of the alarm system of the united automated digital communication system. Moscow. MO RF, 2001. 411 p. (in Russian).
2. Zhigadlo V.E. Architecture of telecommunications networks. - St. Petersburg: MUS, 2000. 218 p. (in Russian).

3. Kuznetsov V.E., Kurnosov V.I. Structure of the life cycle of the evolutionary development of telecommunication networks. Collection of abstracts of reports of the 53rd STC NTORES named after A.S. Popov. - St. Petersburg: 1998. P. 35-36. (in Russian).
4. Goldstein B.S. Signaling in communication networks-M.: Radio and Communication, 1997. 317 p. (in Russian).
5. Kurnosov V.I., Stratiev A.A. Features of solving problems of structural and network optimization of the subscriber access network. Collection of scientific papers "Communication networks and switching systems". St. Petersburg: TEMA Publishing House, 2000. p. 19-25 (in Russian).
6. Ryzhikov Yu.I. Imitatsionnoe modelirovanie. Theory and Technologies. Moscow. Altex-A, 2004. 384 p. (in Russian).
7. Kurnosov V.I., Likhachev A.M. Methodology of project research and quality management of complex technical telecommunication systems. St. Petersburg. Publishing house "TIREX", 1998. 496 p. (in Russian).
8. Grebenev D.V., Dvoryakov V.E., Kuznetsov V.E. Problems of diagnostics and evaluation of durability on communication networks. Communication systems. Analysis. Synthesis. Management. Vol.4.- Under the editorship of V.P. Petushkova. St. Petersburg. Theme, 2001. 287 p. (in Russian).
9. Baklanov I.A., Measurement technologies in telecommunication systems. Moscow. Eco-Trends, 1998. 183 p. (in Russian).
10. Petrovich V.I. Construction of the logical structure of communication networks implementing Regis-we are "shipping" and "connection", and the calculation of the probability of timely message delivery. Tech means of communication. Ser. TPS, Issue 7. UNTI "Ecos", 1989. P. 3-14 (in Russian).

Статья поступила 15 октября 2020 г.

Информация об авторе

Курносос Валерий Игорьевич – Доктор технических наук. Ведущий специалист ПАО «Интелтех». Тлф.: +7 (921) 303-21-05. E-mail: vi-kurnosov@mail.ru. Адрес: 197342, Россия, Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д. 8.

Лукин Константин Игоревич – Кандидат технических наук. Генеральный директор ОАО «Супертел». Тлф.: +7 (812) 232-73-21. E-mail: info@supertel.ru. Адрес: 197101, Россия, Санкт-Петербург, Петроградская наб., д. 38 А.

An approach to the formation of operational requirements for the elements of network services of the communication management system in the departmental telecommunications system

V.I. Kurnosov, K.I. Lukin

***Annotation.** Discusses the approach to developing the operational requirements to elements of the departmental telecommunication systems (VTCS), based on the research model of education network services in order to ensure the interaction of elements WTX when using various telecommunication technologies. The analytical relationships describing the functioning of the main surfaces VTX that allow with sufficient degree of accuracy to solve problems of forming requirements to the main parameters of the structures of a network service alarm systems and within the structure VTX.*

***Keywords:** departmental telecommunications system, network service, alarm system, switched signal unit, signal-control flow, operational requirements*

Information about the Authors

Valery I. Kurnosov – Doctor of Technical Sciences. Leading Specialist of PJSC "Inteltech". Tel.: +7 (921) 303-21-05. E-mail: vi-kurnosov@mail.ru. Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street, 8.

Konstantin I. Lukin – Candidate of Technical Sciences. General Director of JSC "Supertel". Tel.: +7 (812) 232-73-21. E-mail: info@supertel.ru. Address: Russia, 197101, Saint-Petersburg, Petrogradskaya nab., 38A.

Для цитирования: Курносос В.И., Лукин К.И. Подход к формированию эксплуатационных требований к элементам сетевых служб системы управления связью в ведомственной телекоммуникационной системе // Техника средств связи. 2020. № 4 (152). С. 2-12.

For citation: Kurnosov V.I., Lukin K.I. An approach to the formation of operational requirements for the elements of network services of the communication management system in the departmental telecommunications system. Means of communication equipment. 2020. No 4 (152). Pp. 2-12 (in Russian).

УДК 623.618

Об использовании моделей пространственно-информационных структур при разработке систем связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления специального назначения

Козлов К.В., Кулешов И.А., Сенчуков М.В., Козлова А.К.

***Аннотация.** В статье изложен порядок использования моделей пространственно-информационных структур при разработке систем связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления специального назначения. На основе логико-эвристического метода сформирован перечень требований к структуре системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления специального назначения. При определении основных исходных данных для формирования технических требований к составу и функциональным возможностям разрабатываемой системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления специального назначения предлагается идти по пути исследования моделей её пространственно-информационной структуры и комплексной модели обеспечиваемой ею системы управления. Целью работы является формирование подхода к определению требований к системе связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления группировки авиации и войск противовоздушной обороны на основе анализа характеристик её пространственно-информационной структуры.*

***Ключевые слова:** система связи; радиотехническое обеспечение; автоматизация управления авиации; войска противовоздушной обороны; пространственно-информационная структура; комплексная модель системы управления.*

Опыт участия авторов в разработке систем связи (СС), радиотехнического обеспечения (РТО) и автоматизации управления (АУ) специального назначения (СН) свидетельствует о том, что при решении проблемы определения основных исходных данных для формирования технических требований к составу и функциональным возможностям разрабатываемой СС, РТО и АУ необходимо идти по пути исследования моделей её пространственно-информационной структуры и комплексной модели обеспечиваемой ею системы управления.

При этом, авторы исходят из того, что, поскольку существует объективная связь между выполнением СС, РТО и АУ требований к ней со стороны вышестоящей системы и определёнными свойствами структуры системы связи и РТО, наиболее приемлемым подходом при формировании требований к структуре СС, РТО и АУ является тот, при котором: наличие связей между элементами структуры СС, РТО и АУ определяется в соответствии с пространственно-информационной структурой системы управления (СУ); выбор элементов и связей СС, РТО и АУ осуществляется таким образом, чтобы их свойства соответствовали информационным потребностям элементов СУ СН; информационным связям в СУ СН сопоставляются соответствующие телекоммуникационные услуги; определение требований к структуре СС, РТО и АУ сопоставление их требованиям к старшим системам производится на основе анализа влияния элементов и связей структуры на выполнение соответствующих требований к самой системе.

Элементы СС, РТО и АУ должны обеспечивать выполнение целого ряда требований к вышестоящим системам: СУ военного назначения; системе пунктов управления; объектам управления (и управляемым объектам); к связи, РТО и АУ; к СС, РТО и АУ; техническим средствам управления связи, РТО и АУ. При определении свойств структуры СС, РТО и АУ и требований к ней, необходимо учитывать, что в последующем, при выборе варианта пространственно-информационной структуры формируемой СС, РТО и АУ, оценку его соответствия выдвигаемым требованиям предполагается осуществлять по способности обеспечить поддержание требуемого состояния СС, РТО и АУ в текущий момент времени.

Поскольку состояние системы в текущий момент времени определяется совокупностью показателей характеристик, необходимым условием выполнения требований СУ СН к значениям показателей характеристик СС, РТО и АУ в целом является выполнение

соответствующих требований для каждой из них. На различных этапах жизненного цикла значение показателей характеристик будет меняться сообразно изменениям требований СУ СН применительно к решаемым ею задачам и условиям их выполнения. Требования к вышестоящим системам сводятся к наличию у этих систем определенных свойств. Воспользовавшись логико-эвристическим методом и результатами анализа причинно-следственных связей, возможно сопоставить свойства вышестоящих систем со свойствами структуры СС, РТО и АУ СН. Затем, определив набор характеристик свойств пространственно-информационной структуры системы связи, РТО и АУ, влияющих на выполнение требований к свойствам вышестоящих систем, можно сформулировать требования к значению показателей этих характеристик. При формулировании требований к пространственно-информационной структуре системы связи, РТО и АУ может быть применён порядок, представленный на рис. 1.



Рис. 1. Порядок определения требований к пространственно-информационной структуре СС, РТО и АУ

Анализ перечисленных свойств и требований позволяет установить связь между свойствами СУ СН, системы пунктов управления (ПУ), объектов управления и технических средств управления и связи, РТО и АУ, а также СС, РТО и АУ с такими свойствами структуры СС, РТО и АУ как способность обеспечить формирование и функционирование необходимого количества (множества): типовых объектов структуры – $S^{объект}$; рабочих мест должностных лиц и комплексов средств автоматизации управления – $D^{PM(KCAU)}$; направлений связи – L^{HC} ; информационно-телекоммуникационных сетей – $S^{ИТС}$; полей управления – $\Pi^{поле}$; схем радиосветотехнического обеспечения (РСТО) аэродромов и вертолётных площадок – $S^{РСТО}$; способность структуры СС, РТО и АУ изменять свою конфигурацию, в соответствии с изменениями структуры СУ СН ($K^{конфиг}$) и проводить на своих элементах мероприятия, направленные на повышение её разведзащищённости и живучести ($R^{РЖ}$). В качестве показателя, обеспечивающей взаимную независимость остальных характеристик свойств, предполагается рассматривать ресурс, использованный для формирования структуры – $R_{исп}^{G, ССРТОАУ}$, поскольку достижение требуемых значений показателей характеристик каждого из выбранных свойств пространственно-информационной структуры СС, РТО и АУ обеспечивается его различными составляющими. Качество сформированной структуры должно быть не хуже требуемого.

С учётом этого, структура системы связи, РТО и АУ может быть охарактеризована массивом:

$$G_v^{CCPTOAU} = \|S_v^{объект}, D_v^{PM(KCAU)}, L_v^{HC}, \Pi_v^{поле}, S_v^{РСТО}, S_v^{ИТС}, K_v^{конфиг}, R_v^{РЖ}\|. \quad (1)$$

Показатель, характеризующий качество её варианта – v представлен в виде:

$$Q_v^{G, ССРТОАУ} = \|Q_v^{S^{объект}}, Q_v^{D^{PM(KCAU)}}, Q_v^{L^{HC}}, Q_v^{\Pi^{поле}}, Q_v^{S^{РСТО}}, Q_v^{S^{ИТС}}, Q_v^{K^{конфиг}}, Q_v^{R^{РЖ}}\|. \quad (2)$$

Таким образом, на основе логико-эвристического метода может быть сформирован перечень требований к структуре системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления СН. Для определения требований к количественному значению выбранных показателей, необходимо построение и исследование комплексной модели СУ СН. При этом, необходимо учитывать, что комплексная модель СУ СН и модель пространственно-информационной структуры СС, РТО и АУ СН взаимосвязаны. Взаимосвязь между элементами комплексной модели СУ СН и элементами модели пространственно-информационной структуры СС, РТО и АУ и порядок формирования исходных данных, необходимых для разработки последней, представлены на рис. 2.

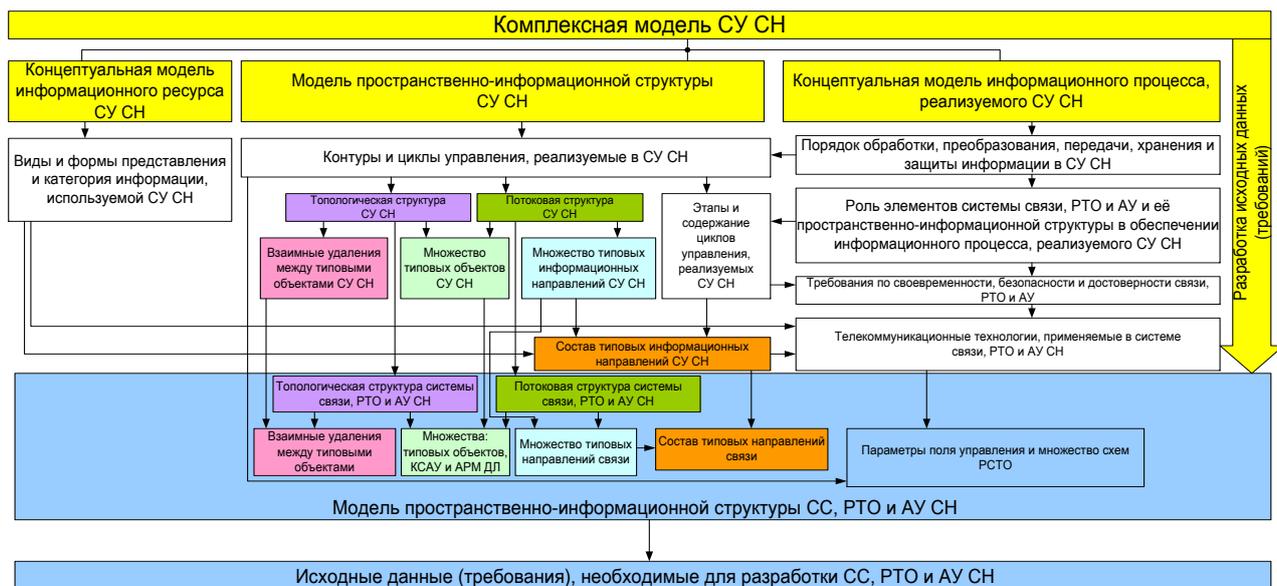


Рис. 2. Состав комплексной модели системы управления СН и взаимосвязь её элементов с элементами формальной структуры системы связи, РТО и АУ СН

В результате исследования представленных на рис. 2 моделей, становится возможным определить требования к перечисленным выше характеристикам СС, РТО и АУ и перейти к формированию необходимых для разработчика технических требований, включающих: перечень категорий передаваемой (принимаемой) информации; перечень и состав типовых информационных сетей (направлений), формируемых в обеспечиваемой СУ СН; требования к своевременности, достоверности и безопасности связи, РТО и АУ; перечень и состав типовых сетей (направлений) связи требуемой протяжённости, обеспечивающих информационный обмен (ИО), и их количество; параметры поля управления авиацией; перечень подлежащих реализации телекоммуникационных служб и услуг; классов излучений, диапазона и шага сетки радиочастот, криптоалгоритмов, режимов командных радиолиний управления, алгоритмов помехоустойчивого (помехозащищённого) кодирования и программно-перестраиваемой рабочей частоты; перечень телекоммуникационных технологий, которые могут быть задействованы для обеспечения ИО; предложения по организации управления элементами СС, РТО и АУ (конфигурирования, контроля работоспособности и дистанционного управления); другие требования (учитывающие воздействие факторов, влияющих на формирование структуры, разрабатываемой СС, РТО и АУ СН).

Объёмы работы не позволяют рассмотреть все аспекты проблемы, авторы готовы оказать помощь в разработке требований к СС, РТО и СН всем заинтересованным специализированным организациям и должностным лицам, желающим воспользоваться представленным подходом.

Литература

1. Духон Ю.И. Справочник по связи и радиотехническому обеспечению полётов. – М.: Воениздат, 1979. – 286 с.
2. Захаров В.А., Гладышев В.А. Основные требования к системе ПВО войск и объектов в современных условиях // Военная мысль. 2007. №1. С. 10-13.

References

1. Dukhon Y.I. Handbook on Communication and Radio Engineering Support of Flights. Moscow, Voensizdat, 1979. 286 p. (in Russian).
2. Zakharov V.A., Gladyshev V.A. *Osnovnyye trebovaniya k sisteme PVO vojsk i ob"ektov v sovremennykh usloviyah* [Basic requirements to the air defense system of troops and facilities in modern conditions]. Military thought. 2007. №1. P. 10-13 (in Russian).

Статья поступила 23 октября 2020 г.

Информация об авторах

Козлов Константин Валентинович – Кандидат военных наук. Заместитель директора научно-технического центра ПАО «Интелтех». E-mail: k.kozlov@inteltech.ru.

Кулешов Игорь Александрович – Доктор технических наук, доцент. Заместитель генерального директора ПАО «Интелтех» по научной работе. Email: KuleshovIA@inteltech.ru.

Сенчуков Михаил Викторович – Ведущий инженер ПАО «Интелтех». E-mail: m.senchukov@inteltech.ru.

Козлова Анастасия Константиновна – Студент Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ». E-mail: g66s@mail.ru.

Тел. +7 (812) 313-12-52. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

About use of models of spatially-information structures by system engineering of communication, radio engineering management and automation of management of a special purpose

K.V. Kozlov K.V., I.A. Kuleshov, M.V. Senchukov, A.K. Kozlova

Annotation. In article the order of use of models of spatially-information structures is stated by system engineering of communication, radio engineering and automation of management of a special purpose. On a basis logiko-heuristic a method the list of requirements to structure of a communication system, radio engineering and automation of management special purpose can be generated. At definition of the basic data for formation of technical requirements to structure and technical possibilities developed system of communications is offered to go by the way of research of its models of structure and complex model of a control system provided with it. The work purpose is approach formation to definition of requirements to a communication system, radio engineering and automation of management of grouping of aircraft and armies of air defence on the basis of the analysis of characteristics of its spatially-information structure.

Keywords: the communication system; radio engineering; automation of management of aircraft; air defence armies; spatially-information structure; complex model of a control system.

Information about authors

Kozlov Konstantin Valentinovich – The candidate of military sciences. The deputy director of scientific and technical centre PJSC «Inteltech». E-mail: k.kozlov@inteltech.ru.

Kuleshov Igor Aleksandrovich – Dr.Sci.Tech., the senior lecturer. The deputy of general director PJSC «Inteltech» on scientific work. E-mail: KuleshovIA@inteltech.ru.

Senchukov Michael Viktorovich – The lead engineer PJSC «Inteltech». E-mail: m.senchukov@inteltech.ru.

Kozlova Anastasia Konstantinova – Student of St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI". E-mail: g66s@mail.ru. Tel. +7 (812) 313-12-52. Address: 197342, Russia, St. Petersburg, ul. Kantemirovskaya, 8.

Для цитирования: Козлов К.В., Кулешов И.А., Сенчуков М.В., Козлова А.К. Об использовании моделей пространственно-информационных структур при разработке систем связи, радиотехнического управления и автоматизации управления специального назначения // Техника средств связи. 2020. № 4 (152). С. 13-16.

For citation: Kozlov K.V., Kuleshov I.A., Senchukov M.V., Kozlova A.K. About use of models of spatially-information structures by system engineering of communication, radio engineering management and automation of management of a special purpose. Means of communication equipment. 2020. No 4 (152). Pp. 13-16 (in Russian).

УДК 621.391

Анализ научно-методического аппарата удалённого мониторинга технического состояния информационно-телекоммуникационных сетей и систем

Аллакин В.В., Голунов М.В.

Аннотация: *Постановка задачи:* на основе анализа научно-методического аппарата революционных и эволюционных подходов к дистанционному контролю и диагностике автономных объектов связи провести поиск новых методов удалённого мониторинга технического состояния элементов территориально-распределённых информационно-телекоммуникационных сетей и систем. **Цель работы** является обоснование применимости удаленного мониторинга элементов территориально-распределённых информационно-телекоммуникационных сетей, построенного на основе использования современных технологий интеллектуальной обработки измерительной информации и методов классификации по виду технического состояния. **Используемые методы:** в ходе анализа существующего научно-методического аппарата удаленного мониторинга состояния объектов связи рассмотрены несколько методов контроля функционирования сетевых элементов. В качестве революционных методов предложены: метод, основанный на технологии мобильного массового считывания – *Mobile Crowd Sensing*, позволяющей получать информацию о техническом состоянии объектов контроля на основе фактических измерений в окружении, с построением динамической карты радиосреды – *Radio Environment Map*; методы, заимствованные из беспроводных технологий «Интернет вещей», «Умный город», «Умный дом», «Мягкие пространства» и других, построенных на использовании поведенческих паттернов, под которым понимается синхронизированное в режиме реального времени множество последовательностей измерительной информации, как от внутренних, так и от внешних датчиков, регистрирующих параметры протекающих в устройствах процессов. В качестве классических подходов к реализации удалённого мониторинга рассмотрены методы, применяемые системами радиоконтроля, когда осуществляется сбор данных об отклонениях параметров излучений радиоэлектронных систем, излучающих электромагнитные волны, от нормативных значений. Один из них состоит в том, что техническое состояние радиоэлектронного средства оценивается по показателю качества дискретного канала связи, в котором оно функционирует. При этом применён формализованный подход к построению математической модели дискретного канала связи, позволяющий установить зависимость достоверности передачи сообщений в канале от значений эксплуатационных параметров аппаратуры связи и среды распространения сигналов, изменяющихся под воздействием внешних и внутренних дестабилизирующих факторов. **Новизна** исследования состоит в том, что ранее подобные задачи решались лишь при контроле функционирования отдельных радиосредств, а в настоящее время данные методы необходимо адаптировать для применения на перспективной телекоммуникационной системе в виде территориально-распределённой декаметрового автоматизированной сети радиосвязи. **Результат** проведенного анализа состоит в том, что ни один из рассмотренных методов мониторинга без существенной доработки для нового объекта исследования не применим, а следовательно, необходима разработка как общего подхода к удаленному мониторингу технического состояния элементов территориально распределённой в реальном масштабе времени, так и математической модели канала связи, которая учитывала бы наряду с характеристиками среды распространения радиоволн, еще и техническое состояние аппаратуры.

Ключевые слова: *информационно-телекоммуникационная система, мониторинг технического состояния, низкоскоростная сеть связи с высоким коэффициентом ошибок, вероятность ошибки.*

Введение

В последние годы встречается достаточно большое количество публикаций по вопросам контроля и мониторинга информационно-телекоммуникационных систем (ИТКС) и сетей, а также отдельных радиоэлектронных систем (РЭС), в которых в качестве диагностических признаков используются показатели качества их функционирования [1-4 и др.]. В тоже время,

современное состояние технологий формирования единого информационного пространства (ЕИП) РФ и единых информационно-управляющих пространств (ЕИУП) министерств и ведомств требуют создания распределённой системы сбора данных о техническом состоянии (ТС) их элементов, а также своевременной обработки накапливаемой измерительной информации (ИИ) в интересах получения того самого синергетического эффекта в повышении эффективности функционирования их телекоммуникационных подсистем как технической основы [5].

Широкое внедрение комплексов средств автоматизации (КСА) и программно-аппаратных комплексов связи (ПАКС) ведет к тенденциям сокращения числа пунктов управления (ПУ), и как следствие, увеличению расстояний между ними; рассредоточенности в пространстве; снижению их обитаемости (сокращению персонала) и переходу на полностью автоматизированные узлы (АУС) и системы связи (АСС), автоматизированные радиочастоты (АРЦ) и комплексы связи (АКС) во всех звеньях управления. Создаются предпосылки к появлению новых классов автономных глобально перемещающихся объектов (ГПО), выполняющих специальные задачи в отрыве от ПУ (беспилотные летательные аппараты – БПЛА, автономные необитаемые подводные аппараты – АНПА и др.) Существующая номенклатура современных технических средств автоматизации позволила сократить, а в некоторых случаях полностью устранить расчёты связи и обслуживающий персонал с некоторых объектов связи. Для обеспечения необходимого уровня безопасности и надёжности таких объектов необходима эффективная система дистанционного контроля (удалённого мониторинга), позволяющая решать весь спектр задач по управлению связью. В настоящее время такие автоматизированные системы управления связью (АСУС) разрабатываются и создаются для конкретных АСС отдельных видов и родов ВС РФ. В тоже время, уникальность объединённой автоматизированной цифровой системы связи (ОАЦСС) и большая рассредоточенность её ресурсов на территории РФ требует разработки единообразного подхода для формирования автоматизированных систем контроля (мониторинга) (АСК) и управления с учетом межвидовых (межведомственных) особенностей и региональной специфики (континентальный шельф, морская среда, районы Арктики и пр.) размещения объектов связи.

При всём этом необходимо отметить тот факт, что несмотря на смену этапа автоматизации в эволюции развития систем управления и комплексов связи уже давно пришли этапы интеграции и унификации, а в последние годы наметился и переход к этапу интеллектуализации [2], в развитии технологий и средств контроля наблюдается некоторое отставание. Лишь недавно появились автоматизированные измерительные комплексы (АИК), выполняющие узконаправленные функции в интересах конкретного вида ВС РФ, министерства, ведомства. Только сейчас, когда пристальное внимание развитию технологий искусственного интеллекта обращено на самом высоком уровне, нашли отклик вопросы создания межвидовых (межведомственных) АИК, автоматизированных (АСК) и интеллектуальных (ИСК) систем контроля, способных осуществлять мониторинг и комплексный контроль функционирования распределённых гетерогенных систем и их элементов в ЕИП (ЕИУП) РФ, на ОАЦСС ВС РФ.

Цель статьи: обосновать применимость удаленного мониторинга элементов территориально-распределённых информационно-телекоммуникационных сетей и АСС, построенного на основе использования современных технологий интеллектуальной обработки измерительной информации и методов классификации по виду технического состояния.

В качестве элементов ИТКС в работе рассмотрены технические средства стационарных АРЦ территориально распределённой автоматизированной сети радиосвязи (АСРС), как одной из сложноописываемых сетевых структур (низкоскоростной сети с высоким коэффициентом ошибок), при получении информации об их техническом состоянии на основе фактических измерений в окружении, с построением динамической карты радиосреды для решения задач планирования в условиях деградации сети и эксплуатационных отказов.

Описание объекта контроля

Построение варианта подсистемы контроля (мониторинга) такой сложной гетерогенной структуры как ЕИП (ЕИУП) рассмотрим на примере межвидовой декаметровой (ДКМ) сети радиосвязи (СРС) [6]. Это объясняется тем, что в телекоммуникационных системах всегда уделяется особое внимание средствам «прямой» радиосвязи, которые способны обеспечить возможности оперативного обмена информацией между абонентами минуя каналы и линии первичной сети связи и сетей связи общего пользования. К классу таких средств относятся линии ДКМ радиосвязи, находящие широкое применение практически во всех звеньях управления, что обусловлено рядом таких объективных причин, как высокая мобильность, гибкость, обеспечение связи на любые расстояния при минимальных затратах сил и средств и др. Именно эти особенности делают ДКМ радиосвязь незаменимой практически во всех условиях ведения боевых действий. А последующее совершенствование СРС (при построении межвидовой АСРС) даст прирост эффективности применения ДКМ радиосвязи за счёт наращивания многосвязности сетевой структуры и возможностей по её трансформации в динамике изменения обстановки по связи, использования прямых и составных радиоканалов, автоматизации управления ресурсами радиолиний, радиоцентров и сети в целом, а также сопряжения АСРС с ОАЦСС ВС РФ и ведомственными СРС [7], рис. 1.

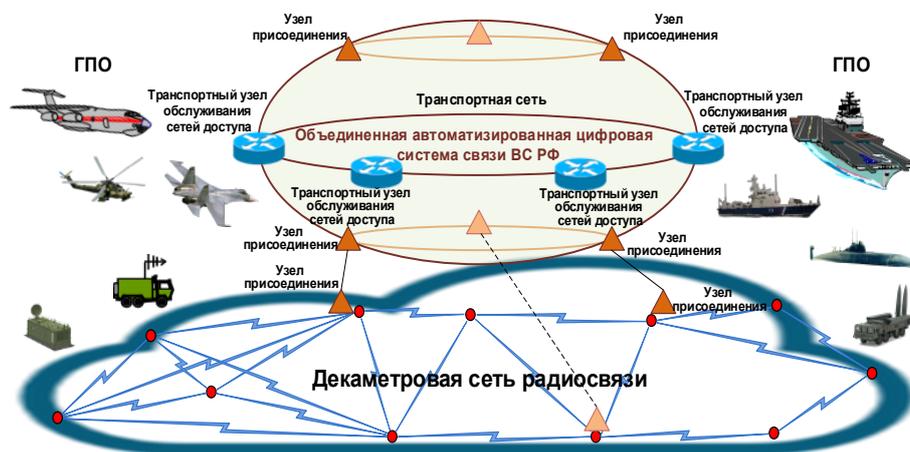


Рис. 1. Вариант построения гетерогенной структуры на основе ОАЦСС и СРС

Выбор в качестве объекта контроля элементов ДКМ радиосети также вызван тем, что ДКМ СРС справедливо относят к сетям низкой готовности и надёжности из-за того, что их построение основано на каналах радиосвязи с переменными параметрами. Именно по этой причине развитие ДКМ радиосетей сопряжено со многими трудностями. Далеко не все страны имеют или работают над созданием таких «капризных» сетевых структур, всё больше отдавая предпочтение высокоскоростным родам радиосвязи (космической, радиорелейной, тропосферной). В связи с этим весьма актуальными являются исследования по повышению эффективности функционирования СРС [8-10 и др.]. К числу основных рассматриваемых вопросов в данных работах относятся: создание многосвязной структуры с функциональной избыточностью СРС, в которой за счет динамического перераспределения потоков сообщений повышается устойчивость оперативного обмена информацией; разработка алгоритмов управления частотным ресурсом на радиоцентре; разработка алгоритмов управления адаптивными радиолиниями (АРЛ); разработка алгоритмов функционирования АРЦ при централизованном использовании радиосредств; реализация сетевой синхронизации и др.

Важным условием успешного функционирования СРС является необходимость выделения им достаточного частотного, аппаратурного и других видов ресурсов [11]. При этом эффективность функционирования группы радиолиний, обслуживаемых АРЦ, зависит

не только от того, каким ресурсом располагает тот или иной радиоцентр, но и в значительной мере от того, каким образом эти ресурсы используются. В этом случае одним из путей повышения эффективности СРС является управление ресурсами в радиолиниях и на АРЦ.

В основе организации СРС и отдельных её радиолиний лежат радиоканалы (дискретные каналы связи – ДКС), предназначенные для передачи дискретных сообщений от источника к получателю и состоящие в соответствии с Рекомендацией *ITU-R F.1487* [12] из комплектов передающих и приёмных радиосредств, с выхода модулятора до входа демодулятора, функционирующие в заранее определенном рабочем режиме, определяемом шириной спектра формируемого сигнала, видом и кратностью модуляции, применяемым канальным кодированием, последовательностью использования закрепленных рабочих частот (модулятора/демодулятора с решающей схемой и среды распространения радиоволн – РРВ).

Радиоканалы могут использоваться для организации радионаправления или радиосети. В случае деградации СРС из-за различных факторов естественного и искусственного характера радиосеть распадается на радионаправления, а по мере её восстановления – организуется в радиосеть, но зачастую уже другой структуры. В качестве частного примера реализации такого подхода можно привести самоорганизующиеся сети радиосвязи (ССР). Это радиосети с децентрализованным управлением, не имеющие постоянной структуры. В иностранной литературе для обозначения ССР часто применяют термин «мобильная сеть с ситуационным управлением», *Mobile Ad hoc Network (MANET)*. Они обеспечивают возможность передачи данных на большие расстояния без увеличения мощности передатчика, а также устойчивость к изменениям в инфраструктуре сети [13].

Существующие реализации ССР основаны на технологиях *Bluetooth*, *Wi-Fi*, *ZigBee*, не использующих декаметровый диапазон. В тоже время перспективная военная радиосистема связи армии США *Joint Tactical Radio System (JTRS)*, использует закрытый сетевой протокол радиосвязи *Wideband Networking Waveform (WNW)*, обеспечивающий возможность создания ССР на радиосредствах декаметрового диапазона [13], в которой при наличии доступности, любые радиостанции могут соединяться в произвольном порядке и каждая абонентская радиостанция может быть ретранслятором, динамически определяя направления пересылки чужих данных.

Хотя сертифицированные отечественные протоколы функционирования ССР ДКМ диапазона и их реализации на настоящее время и отсутствуют, однако предпринимаются усилия для их создания. Примером могут служить протоколы О2П и О2М для переноса IP-трафика в низкоскоростных сетях с высоким коэффициентом ошибок, разработки ПАО «Интелтех» [14].

При использовании декаметрового диапазона волн на пути реализации сетевых структур возникает одна из ключевых проблем – это анизотропия радиоканалов как по направлению передачи, так и по задействованному частотному и аппаратурному ресурсам. Она обусловлена тем, что вследствие использования отражения радиоволн от ионосферы, одни и те же рабочие частоты в различных направлениях обеспечивают различные уровни сигнала на приеме. Рабочая частота, пригодная для обмена данными в одном направлении, может быть совершенно непригодной для обмена данными в другом направлении. Также структурно АРЦ как узловые элементы СРС состоят из аппаратурного ресурса с выделением множества соответственно радиопередающих (РПДУ) и радиоприёмных (РПУ) устройств, закреплённых за радиоканалами (радионаправлениями, абонентами радиосети) и обладающими своими надёжностными характеристиками (параметрическим ресурсом), рис. 2 и 3 [15]. При этом анизотропия радиоканалов (по частотному и аппаратурному ресурсам) в одном и том же направлении связи (на ребре радиосети) оказывает существенное значение на качество радиосвязи, определяемое свойствами самих радиоканалов, такими как ТТХ радиосредств, методов ведения связи, степени использования выделяемых ресурсов (частотных, аппаратурных, временных, энергетических, параметрических и др.). Однако зачастую данная анизотропия радиоканала игнорируется, идеализируя его применением абсолютно надёжной техникой связи.

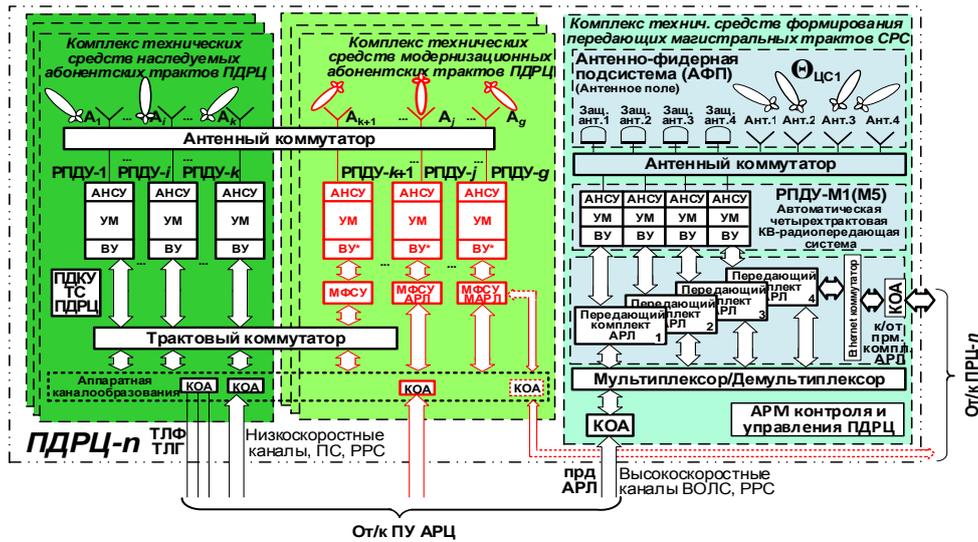


Рис. 2. Общая структура передающего радицентра (ПДРЦ) из состава АРЦ

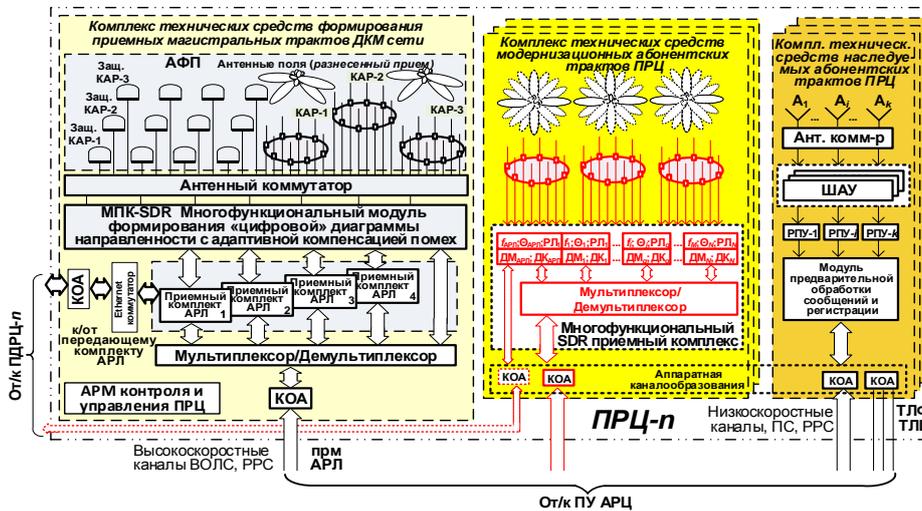


Рис. 3. Общая структура приёмного радицентра (ПРЦ) из состава АРЦ

В тоже время в приведенных выше примерах СРС имеет место преимущественная изотропия, то есть любая рабочая частота на любом направлении передачи имеет одинаковое качество, также, как и устройства *Bluetooth*, *Wi-Fi*, *ZigBee* изотропны. В декаметровом же диапазоне присутствует анизотропия рабочих частот и направлений передачи, что приводит к невозможности использования АРЦ СРС свободных рабочих частот и аппаратных ресурсов в произвольном порядке. Данный выбор должен быть обусловлен состоянием ионосферы, взаимным положением корреспондирующих радиостанций, а также характеристиками их радиосредств. Таким образом, возникает необходимость в создании условий контроля и мониторинга состояния радиосредств, а также прогнозирования управляющих воздействий, которые могли бы с одной стороны оставлять самоорганизующуюся систему в определенных рамках, а с другой – осуществлять противодействие деструктивным внешним воздействиям.

И действительно, как правило, на любом радицентре имеющийся аппаратный ресурс распределяется между организуемыми радиолиниями с взаимодействующими абонентами таким образом, что средства связи с наилучшими техническими характеристиками закрепляются за приоритетными радиолиниями, а остальные технические средства – по остаточному принципу – между равноправными радиолиниями. При этом всегда должен обеспечиваться необходимый резерв технических средств (в том числе и «горячий»). Фактически каждый начальник радицентра (дежурный по радиосвязи) на экспертном уровне (эвристически) занимается решением задачи управления аппаратным

ресурсом, достигая цель – повышение эффективности связи в радиолинии, опираясь при этом лишь на свои знания о значениях эксплуатационных параметров включаемых в радиолинию радиосредств, исходя из оценки их технического состояния в ходе процедур технического обслуживания. Однако, хотелось бы внести в этот процесс некоторую ясность и перейти от субъективизма к объективным аналитическим методам и подходам.

К решению задачи повышения эффективности ДКМ радиолинии традиционно подходят путем оптимизации основного её критерия в виде вероятности связи с допустимыми потерями достоверности $P_{св}(p_{ош} \leq p_{ош, доп})$, где $p_{ош}$ и $p_{ош, доп}$ – вероятность ошибочного приема элемента сигнала и её допустимое значение. Однако, при этом почти всегда исследователь делает допущение на абсолютно надёжную аппаратуру связи, стараясь достичь цели только путем учёта состояния среды РРВ (выбором рабочей частоты по результатам измерения уровня помех в радиолинии), и не беря во внимание искажения передаваемого по техническим трактам сигнала, без учета надёжности технических средств, когда их эксплуатационные параметры могут дрейфовать от номинала к границе допуска и за его пределы.

Оценка технического состояния (ТС) современных комплексов радиосвязи, характеризующаяся большим числом технических параметров, требует значительных ресурсных и временных затрат [2]. Решение практических задач поддержания технических средств глобальной ДКМ СРС в постоянной готовности к применению по назначению сопряжено с постоянным процессом оценки технического состояния РПУ и РПДУ на АРЦ СРС. Длительность измерения большого количества параметров и продолжительность анализа результата измерения обуславливается особенностью измеряемых параметров. В связи с этим применяемые методы параметрического диагностирования [2] характеризуются низкой производительностью (оперативностью, полнотой, достоверностью) оценки ТС объекта контроля, что в целом снижает готовность и устойчивость СРС в целом.

Любой узел сети (элемент СРС), как объект управления, является системой обратной связи, которая должна предоставлять некоторый отклик на возможные варианты его состояния: полный или частичный отказ, общие перегрузки, ненадлежащее функционирование и пр. Для корректной работы АСУС время отклика должно быть настроено весьма тщательно. При слишком коротком периоде реакции сетевого узла (АРЦ) АСУС будет находиться в состоянии постоянных изменений (незатухающих колебаний) и не придёт в стабильное состояние. В тоже время, при слишком длинном периоде реакции, механизмы управления состоянием будут реагировать слишком медленно.

Теория и практика разработки и эксплуатации видовых ИТКС и АСС показали, что в системах такого класса характеристики средств управления в большей мере определяются характеристиками комплексов связи (АКС), чем характеристиками КСА. При этом, например, оперативность системы управления почти полностью зависит от вероятностно-временных характеристик доведения командной информации по каналам связи ИТКС (АСС) и, соответственно от технического состояния АКС, взаимоувязанных с КСА. А это требует достоверного знания в режиме реального времени вида ТС подконтрольных элементов (АКС). В тоже время, решение проблемы съёма актуальной измерительной информации (ИИ) с объектов контроля (ОК), распределенных на огромной территории страны элементов ИТКС (АСС), а также высококомобильных ГПО наземного, воздушного и морского базирования, в том числе и за пределами РФ (в дальней морской и океанской зонах) резко осложняется из-за нахождения исполнительных звеньев в разных средах (на земле, в воздухе, на воде). Мало того, в большинстве случаев (на малообитаемых и необитаемых (автономных) ОК, таких как АРЦ, АУС, БПЛА, АНПА и др.) отсутствует какая-либо возможность проведения оперативных мероприятий оценки ТС их элементов и подсистем. В этих условиях сбор телеизмерительной информации можно осуществлять только дистанционно, по радиоканалам.

Исходя из сказанного проведём обзор современных подходов и методов дистанционного контроля (мониторинга) состояния элементов телекоммуникационных систем и сетей.

Обзор современных подходов к дистанционному контролю и диагностике элементов телекоммуникационных систем и сетей

Проведем краткий анализ научно-методического аппарата контроля и мониторинга функционирования сетевых элементов на современном этапе революционных (технологии мобильного массового считывания *MCS – Mobile Crowd Sensing*, позволяющей получать информацию об их техническом состоянии на основе фактических измерений в окружении с построением динамической карты радиосреды *REM – Radio Environment Map*) [16-17] и эволюционных процессов оценки их технического состояния.

В настоящее время особую актуальность приобретают подходы, модели и методы контроля (мониторинга) технического состояния устройств, использующие обработку внешних данных от функционирующей системы. Среди таких характеристик используются данные о поведении, отклонении от прогнозных значений при различных режимах функционирования и ряд других параметров, показывающих изменения внешних характеристик параметров. В качестве источников информации могут выступать вычленимые из различного вида излучений и наводок (прежде всего электромагнитных) сигналы.

Так, одним из подходов, к решению поставленной задачи может стать технология *MCS*, используемая для мультидоменной радиосреды (в перспективе, планируемая к использованию в сетях последних поколений, в том числе и *5G*). Стоит отметить, что для ДКМ СРС необходимые для мониторинга параметры находятся на другом качественном уровне, нежели для традиционно используемых сегодня ДКМ радиолиний (РЛ), поэтому необходим поиск новых методов экспресс-контроля на основе беспроводных технологиях. Для лучшего мониторинга СРС необходимо в режиме реального времени (или близкому к нему) получать и обрабатывать большое количество информации, что необходимо для построения динамической карты радиосети. Причём, недостающую информацию для осуществления анализа состояния элементов и всей радиосети в целом возможно получить от её абонентов. Существуют различные алгоритмы по получению недостающей информации в соответствии с доступными для анализа выборками. При этом аварийные и предаварийные отклонения параметров излучений радиоэлектронных систем от номинальных значений могут измеряться абонентами СРС, имеющими связь с контролируемым передающим радиоцентром на основе фактических измерений в окружении ближайших соседей. Получение более полной измерительной информации об аварийном техническом средстве (с критическим отклонением параметров от своих номиналов) может осуществляться на основе алгоритмов интерполяции Кригинга, триангуляции Делоне [19] или на основе мажоритарной обработки ИИ. Эффективным решением построения масштабной базы данных (БД) технического состояния элементов ДКМ СРС на основе технологии динамической карты радиосреды (*REM*) является применение подхода массового считывания измерительной информации (*MCS*). Причём справедливы утверждения [20, 21], что при оценке методом Кригинга ближайшие точки получения ИИ оказывают наибольшее значение на оценку параметра излучения, а более удалённые точки оказывают меньшее влияние (например, ИИ, полученная абонентами односкачковых магистральных радиолиний СРС по сравнению с ИИ абонентов более протяженных радиолиний).

Еще один из подходов к построению подсистемы мониторинга технического состояния элементов ДКМ СРС возможно заимствовать из беспроводных технологий «Интернет вещей», «Умный город», «Умный дом», «Мягкие пространства» и др. [18]. Типовым решением для организации взаимодействия между техническими устройствами является беспроводная сеть, включающая совокупность узлов (элементов). Такая система имеет инфраструктуру в виде набора физических и логических компонент, обеспечивающие телекоммуникацию, безопасность, маршрутизацию, управление, доступ и другие обязательные свойства сети [22].

Так в ходе построения сетевых структур *IoT* возникает необходимость реализации систем контроля и мониторинга технического состояния устройств, когда в качестве одного из направлений, помимо внутренних систем встроеного контроля могут быть использованы

внешние источники измерительной информации об объекте контроля. Основу данного подхода составляет то, что множество *IoT*-устройств обладают относительно небольшими программно-аппаратными возможностями, с заранее predetermined алгоритмами действий (и откликами на них) и без изменения функционала в течение жизненного цикла. Некоторые *IoT*-устройства имеют предельные допустимые значения параметров функционирования, которые также выполняют запрограммированную последовательность действий на команды управления и внешние события, происходящие в информационной системе. На основе изучения таких данных, используя методы статистического анализа и машинного обучения, можно выявить шаблоны функционирования, вычислить нормальное состояние с функционированием заранее predetermined процессов, предаварийные и аварийные режимы, связанные с появлением значений эксплуатационных параметров, отклоняющихся от нормы (выходящие за допуски).

Применяя данный подход необходимо использовать одновременно несколько информационных каналов, которые могут быть как внутренними, так и внешними. Для ДКМ СРС это могут быть как подсистемы встроенного контроля технических средств элементов АРЦ, так и подсистема удаленного мониторинга отклонений параметров излучений радиоэлектронных систем от нормативных значений на соседних АРЦ СРС. Как и в любой системе, процессы технических устройств АРЦ протекают в динамике, одновременно меняется множество параметров, и, в целях выявления отклонений их от нормы, необходимо просматривать не одно, а несколько дискретных состояний параметров объекта контроля, предшествующих анализируемой ситуации и не от одного взаимодействующего с ОК абонента, а от нескольких «ближайших соседей», не взаимодействующих с ним напрямую, но наблюдающих электромагнитное излучение в выделенном диапазоне. В тоже время большинство АКС АРЦ имеют конфигурационные возможности, позволяющие в течение ограниченного периода времени хранить статистическую информацию о своем функционировании. На начальном этапе эксплуатации после развертывания (в период опытной эксплуатации, при проведении комплексных государственных испытаний и пр.) можно оценить различные характеристики (эксплуатационные параметры; интенсивности информационных и служебных пакетов; времена отклика на запросы, частоты нераспознанных и пропущенных сообщений и др.). Поэтому один из возможных подходов выявления предаварийных и аварийных состояний ОК может заключаться в использовании данных, отражающих состояния системы, которые могут быть применены в статистическом анализе как «эталонные», сравнивая их с «искаженными», проявляющимися в процессе различных условий эксплуатации при воздействии широкого спектра внешних и внутренних условий [16]. При этом исследуемые характеристики и отклонения эксплуатационных параметров от нормы можно получить в результате как пассивного наблюдения (встроенной системой контроля АКС или дистанционно на взаимодействующем АРЦ), так и путём активного опроса устройств дистанционно, рис. 4. Таким образом, необходимо определить «аномальное» ТС АКС относительно «нормального» его состояния на основе статистических данных характеристик множества элементов АРЦ.

На рис. 4 представлена анализируемая система. Информационные и служебные сообщения циркулируют между узлами АРЦ₁ – АРЦ_n, главный (резервный) АРЦ_{гл(рез)} на сети предназначен для сбора информации. В первом случае АРЦ_{гл(рез)} прослушивает абонентов радиосети и формирует выборку статистических данных о надёжность элементов СРС, во втором – дополнительно осуществляет рассылку запросов на АРЦ и измеряет различные характеристики технических средств, входящих в их тракты передачи. В различных режимах работы СРС и её элементов (АРЦ) могут наблюдаться аномалии, требующие более детального изучения на предмет оценки ТС. При этом получение информации о конечном состоянии узлов СРС на основе статистических данных протоколов прикладного уровня взаимодействия АРЦ путем пассивного и активного мониторинга позволяет осуществить построение классификатора.

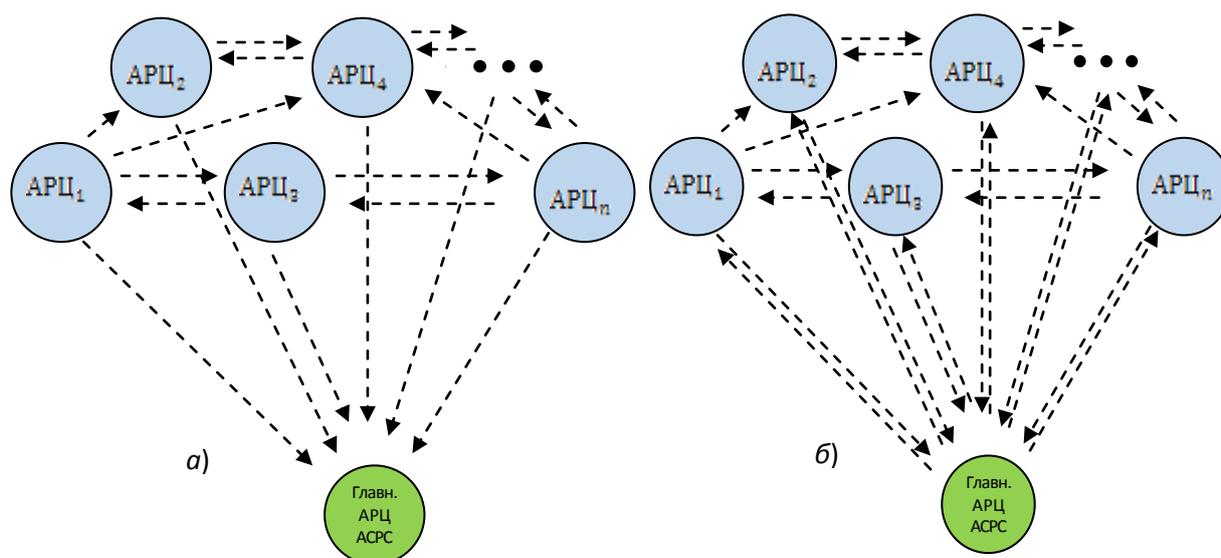


Рис. 4. Схема системы с пассивным (а) и системы с активным (б) мониторингом

Оценивание технического состояния объекта контроля легче проводить, основываясь на профилях нормального функционирования системы (радиолиний, дискретных каналов связи). Для формирования решающего правила при определении класса технического состояния объекта контроля необходимо использовать данные о его техническом состоянии, получаемые в режимах активного и пассивного мониторинга как на основном (резервном) АРЦ АСРС, так и данных, получаемых от других АРЦ сети, имеющих связность (доступность к электромагнитному излучению – ЭМИ) с подконтрольным (взаимодействующим) АРЦ, как объектом контроля. Для того, чтобы не перегружать АСРС лишней измерительной информацией (данными о ТС её элементов) передача служебной информации такого рода может направляться на АРЦ_{гл(рез)} сети только в случае классификации аномального (аварийного или предаварийного) состояния какого-либо из элементов СРС. А поскольку помимо радиосредств АСРС на ней функционируют и другие сетевые элементы (программно-аппаратные комплексы модемного оборудования, серверы, маршрутизаторы и пр.), охваченные подсистемой внутреннего контроля АРЦ, то на АРЦ_{гл(рез)} помимо информации о выходе эксплуатационных параметров радиосредств АСРС за пределы допусков, может направляться так же и информация о состоянии сетевых элементов отдельных АРЦ или всей системы: относительные частоты классов состояний системы; суммарное количество характеристик признаков в определяемых для анализа классах; относительные частоты признаков в пределах каждого класса; количество признаков выборки и др. Накопление измерительной информации в базе данных технического состояния (БД ТС) происходит путем сравнения статистической информации служебных сообщений оконечных узлов (АРЦ) в пассивном и активном режимах.

Данный подход заимствован из технологии, построенной на использовании поведенческих паттернов, под которым понимается синхронизированное в режиме реального времени множество последовательностей измерительной информации как от внутренних, так и от внешних (в том числе, нескольких) датчиков, регистрирующих параметры протекающих в устройствах процессов. Поведенческий паттерн РЭС формируется на основе данных загрузки о его техническом состоянии, полученных из БД о ТС (по результатам инструментального контроля в ходе актуального цикла технического обслуживания или текущего (планового) ремонта), а также текущего потребления ресурсов, электромагнитных спектров, частот, амплитуд, температуры и т. д. [22]. Таким образом, данный подход к реализации мониторинга технического состояния элементов ДКМ АСРС строится при обеспечении их взаимодействия на основе комплексного использования нескольких беспроводных технологий.

Для обнаружения аномальных ситуаций в элементах такой сетевой структуры особую важность приобретают признаки, которые можно представить в виде вектора значений, изменяемого во времени. Поэтому для идентификации аварийного ТС возможно применение наивного байесовского критерия, достоинством которого является малое количество ИИ при обучении необходимых для оценки параметров и требуемых для классификации:

$$C = \arg \max_{h \in H} \frac{p(X/h)p(h)}{p(X)},$$

где h , X – предсказываемое и предшествующее события, значения функции p – вероятности этих событий и их следствий, $p=m/n$, m – число произошедших событий, n – число всех событий.

На статистической информации, полученной через определенные промежутки времени, связанные с функционированием технических средств АРЦ, строится типовой кортеж. Обработывая наивным байесовским классификатором кортеж признаков через определенные промежутки времени, становится возможным определить аномальные состояния системы, на которые следует обратить более пристальное внимание.

Для реализации данного вида мониторинга нет необходимости осуществлять разработку сложных системных приложений. Предложенный метод может быть использован при поиске аномалий (аварийного и предаварийного состояния) элементов сетей. В тоже время, признаковое пространство требует дополнительного анализа и определения информативности отдельных параметров радиосредств для повышения точности и адаптации АИК АРЦ_{гл(рез)} реального времени.

Анализ научно-методического аппарата моделирования радиоканала как объекта контроля, состоящего из среды распространения и аппаратного ресурса, изменяющих своё состояние

Можно считать уже общепризнанным подход к автоматизированным СРС и ИТКС, как к сложным многоуровневым управляемым системам. При этом основной проблемой различных контуров управления от уровня управления техническим состоянием их элементов до уровня управления сетью связи является неопределенность: на нижнем уровне управления не учитываются предстоящие условия функционирования, на верхних уровнях – реальное техническое состояние её элементов. В связи с этим в науке сложилось два принципиально различающихся подхода к решению данной задачи: оптимистический, предполагающий идеальность внешних условий функционирования радиосвязи и абсолютно надёжные средства связи, и пессимистический, рекомендующий рассчитывать только на наихудший случай. Разработка подсистемы контроля технического состояния элементов ДКМ СРС, с учетом условий функционирования этих элементов в радиосреде предполагает использование новых методов дистанционного контроля и мониторинга, проводимых в режиме реального времени (мягкого реального времени), а также технологий искусственного интеллекта, преумножающих эффективность процесса традиционного встроенного контроля и дополняющих его возможности.

Эффективное управление элементами территориально-распределенных АРЦ СРС с учетом постоянно изменяющихся условий функционирования множества радиотрасс и динамики внутренних и внешних воздействий на их технические средства – задача неподъемная и требует непрерывного или дискретного контроля и анализа ТС ОК. Предполагается, что реальное ТС радиосредства можно оценить по результатам контроля (измерения) его параметров, а прогнозирование их изменений позволяет эксплуатировать объект до появления признаков опасного снижения надежности, исключив при этом преждевременные вмешательства в его работу, имеющих зачастую сомнительную полезность для надежности функционирования. И действительно, внедрение подсистем контроля и мониторинга ТС на всех АРЦ и уровнях СРС в интересах информационного обеспечения в большей степени будет способствовать решению задач реализации стратегии технического обслуживания и ремонта средств связи по фактическому ТС с непрерывным контролем, внедряемой сегодня в ВС РФ.

Проведение постоянного мониторинга параметров излучения РЭС на системах связи (ИТКС) в настоящее время уже решается системами радиоконтроля (РК) [23], одной из задач подразделений которых является «...составление данных об отклонениях параметров излучений радиоэлектронных систем и различных установок, излучающих электромагнитные волны, от нормативных значений...». Фактически, подход, используемый АСУ РК для решения задачи по устранению выявленных проблем технической надежности [23] в виде алгоритма взаимодействия модуля мониторинга технического состояния с мобильными и стационарными постами РК, а также с модулем управления техническим состоянием и БД ТС, может быть применен в основе разрабатываемой методики мониторинга технического состояния элементов территориально распределённой низкоскоростной сети с высоким коэффициентом ошибок, рис. 5.

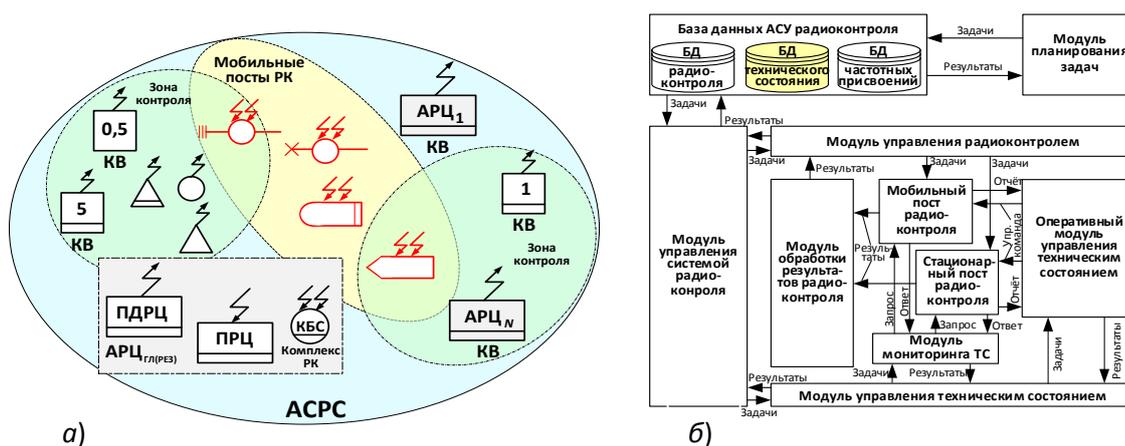


Рис. 5. Структурные схемы системы радиоконтроля (а) и АСУ радиоконтроля (б) [23]

Для ДКМ радиосвязи решение данной задачи как сетевой становится возможным по сравнению с её решением ранее в отношении отдельных радиолиний (РЛ), функционирующих периодически, с жёсткими требованиями по разведзащищённости. Стационарная же ДКМ СРС в качестве своих рёбер должна использовать магистральные радиолинии (МРЛ), функционирующие постоянно, и к которым требования по разведзащищённости уже не столь критичны. При этом на каждом ПРЦ СРС можно принимать информацию об уровне сигналов корреспондирующих абонентов (точнее – идентифицировать диагностические признаки формирователей сигналов различных структур радиопередающих устройств абонента).

Учитывая сложность избранного объекта исследования – ДКМ СРС и условий её функционирования, в качестве методологии исследования используем общую теорию систем, существо которой выражается в двух аспектах: понимании объекта и среды его функционирования как системы и процесса исследования, как системного по своей логике и используемым средствам [24]. При этом сама цель функционирования СРС и её элементов – радиосредств и радиоканалов (дискретных каналов связи – ДКС), как и решаемые ими задачи должны быть осмыслены с учетом влияния изучаемого объекта на другие объекты (системы) и, в первую очередь, на систему более высокого уровня (рис. 1). Поскольку целью статьи является обоснование применимости удаленного мониторинга стационарных и автономных элементов СРС, то в первую очередь, необходимо рассмотреть известные подходы к созданию обобщенной модели реальной системы, которую образуют радиосредства и среда функционирования – ДКС. Такая модель должна стать неким инструментом для описания, оценки состояния и воздействия на СРС как объект контроля, а также основой для последующей формализации и постановки задач принятия решений по распределению ресурсов на восстановление качественного функционирования радиосредств в СРС (обеспечение надежности СРС).

Термин «математическая модель канала» может рассматриваться как в широком, так и в узком смысле. К примеру, структурные схемы систем передачи дискретных сообщений и

её составных звеньев на различных канальных уровнях (непрерывного канала, канала постоянного тока, дискретного канала, канала передачи данных), а также их математическое описание следует рассматривать как модели указанных каналов в широком смысле [25]. В более узком смысле под математической моделью канала понимают указание характеристик его входных и выходных сигналов и их математической взаимосвязи [26]. При этом должны быть заданы множество допустимых входных сигналов X , множество выходных сигналов Y и связывающее их отображение $X \rightarrow Y$. В таком случае, с учетом факторов, действующих в реальном канале на передаваемые сигналы, общую модель канала обычно представляют в виде

$$y(t) = \zeta\{x_r(t), \mu(t)\} + \xi(t), \quad (1)$$

где $x_r(t) \in X$ – входной сигнал с информационным параметром r ; $\mu(t) \in M$ – вектор некоторых случайных характеристик канала; ζ – детерминированное отображение $X \times M \rightarrow S$; \times — знак прямого произведения множеств; $\xi(t)$ – поле аддитивных помех.

Модель (1) используется для выбора оптимальной структуры и алгоритмов работы передающего и приемного устройств [27]. Кроме того, математическая модель канала в виде (1) часто синтезируется для последующего построения на ее основе физической модели – имитатора канала, необходимого при испытаниях радиосредств [28]. На этапе эксплуатации радиоканала, когда осуществляется оценка его состояния, данный канал рассматривается как ОК. В соответствии с [29] априорной моделью любого ОК, отражающей его состояние является зависимость показателя качества объекта от внутренних параметров и характеристик. Применительно к ДКС его модель должна представлять собой зависимость вероятности ошибочного приема сообщений $p_{\text{ош}}$ от параметров и характеристик его составных частей.

Для оценки аппаратурных искажений сигнал на выходе радиосредства обычно представляют в виде квазидетерминированного процесса, т. е. функции времени заданного вида, содержащей несколько случайных параметров, не зависящих от времени [30]. Это обусловлено тем, что скорость изменения характеристик средств связи на несколько порядков меньше скорости изменения характеристик непрерывного канала, а сам механизм аппаратурных искажений сигнала может быть с достаточной степенью точности определен при диагностировании радиосредства. Таким образом, для построения модели ДКС следует применить два подхода: структурно-физический при описании аппаратурной части канала, и феноменологический – при описании непрерывного радиоканала (физической среды РРВ). В [31] рассмотрены оба из них при формализованном подходе к построению математической модели ДКС, позволяющем установить зависимость достоверности передачи сообщений в канале от значений параметров аппаратуры связи и среды распространения сигналов, изменяющихся под воздействием внешних дестабилизирующих факторов.

Учитывая структуру дискретного канала связи, состоящего из аппаратуры преобразования сигнала (модулятора и демодулятора с решающей схемой) и среды РРВ (как показано на рис. 6), множество параметров M , характеризующих состояние его элементов представлены в виде подмножеств $M = \{B, C, D, E\}$, где $B = \{x(t), S_n(t), S_s(t), S_n(t), Y(t)\}$ – фазовые переменные, которые определяют состояние ДКС в любой момент времени t ; $X(t)$ – низкочастотный информационный сигнал; $S_n(t)$ – модулирующий сигнал высокой частоты; $S_s(t)$ – модулированный эталонный сигнал, параметры которого имеют номинальные значения; $S_n(t)$ – искаженный в реальной аппаратуре связи сигнал; $Y(t)$ – сигнал на выходе канала; $C = \{\Phi, L\}$ – внешние параметры дестабилизирующих факторов; Φ и L – характеристики внешних воздействий соответственно на аппаратуру связи и среду распространения сигналов; $D = \{\Theta, \Xi\}$ – внутренние параметры, численные значения которых характеризуют свойства ДКС; Θ – технические параметры аппаратуры связи; Ξ – параметры, характеризующие неоднородность среды распространения сигналов и наличие помех в ней; E – выходные параметры, численное значение которых характеризует качество функционирования ДКС.

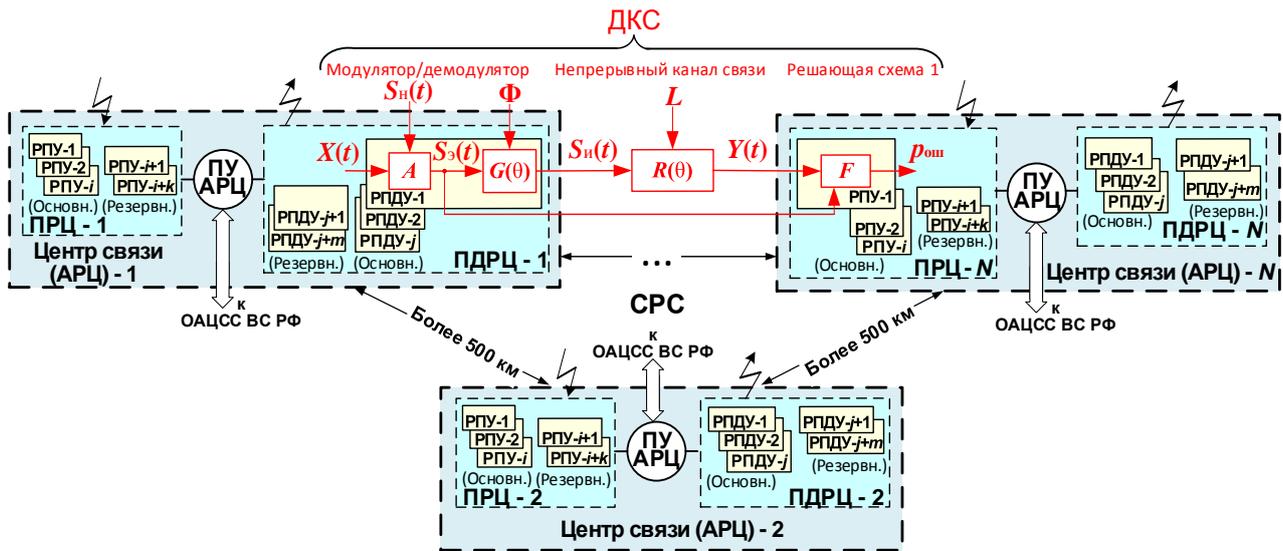


Рис. 6. Формализованная схема дискретного канала радиосвязи в составе СРС

Как приведено на рис. 6 выходным элементом дискретного канала является решающая схема, реализующая определенное правило, в соответствии с которым принимается решение о виде элемента r переданного сигнала (где $r = \overline{1, m}$; m – множество вариантов сигнала) по принятому из канала сигналу $Y(t)$, искаженному вследствие воздействия на ДКС внешних факторов. Таким образом, выходным параметром дискретного канала связи, характеризующим качество его работы, является показатель верности принятия решения о виде переданного сигнала $S_{3r}(t)$ – вероятность ошибочного приема элемента сигнала $p_{ош}$.

Пусть решающая схема реализует правило максимума правдоподобия [32], согласно которому решение о том, что передавался сигнал $S_{3r}(t)$ должно приниматься в тех случаях, когда при всех $l = 1, 2, \dots, m$ имеет место неравенство:

$$\Lambda_{rl} = \frac{\max_{\Theta, \Xi} \iint_{Z(\Theta, \Xi)} W[Y(t) | S_{3r}(t), \Theta, \Xi] W(\Theta, \Xi) d\Theta d\Xi}{\max_{\Theta, \Xi} \iint_{Z(\Theta, \Xi)} W[Y(t) | S_{3l}(t), \Theta, \Xi] W(\Theta, \Xi) d\Theta d\Xi} \geq 1, \tag{2}$$

где $Z(\Theta, \Xi)$ – область интегрирования, определяемая пределами изменения параметров Θ и Ξ ; $W(\Theta, \Xi)$ – плотность вероятности параметров Θ и Ξ ; $W[Y(t) | S_{3r}(t), \Theta, \Xi]$ – условная плотность вероятности сигнала $Y(t)$ при условии, что передавался сигнал $S_{3r}(t)$ по ДКС с параметром Θ и Ξ .

Необходимо, используя решающее правило (2), установить аналитическую зависимость вероятности ошибки приема элемента сигнала от параметров дискретного канала связи, т. е.

$$p_{ош} = f[B, D(\Theta, \Xi)], \tag{3}$$

где $D = \psi[C(\Phi, L)]$.

Для описания ДКС на уровне элементов аппаратуры и среды РРВ, надо детализировать оператор f из выражения (3). В этом случае составляют систему операторных уравнений [31]:

$$\begin{cases} p_{ош} = F[Y(t), S_3(t)]; \\ Y(t) = R[S_n(t), \Xi]; \\ S_n(t) = G[S_3(t), \Theta]; \\ S_3(t) = A[X(t), S_n(t)], \end{cases} \tag{4}$$

уравнения которой описывают функционирование соответствующего элемента формальной схемы дискретного канала (рис. 6). Детализируем базис операторов формального описания (4):

A – оператор, описывающий процесс модуляции в формирователе сигналов разных структур

$$A: X(t) S_H(t);$$

G – оператор, описывающий искажение сигнала в аппаратуре связи и реализующийся в виде квадрата модуля коэффициента взаимной корреляции искаженного и эталонного сигналов:

$$G: K \int_0^T |S_H(t) S_S^*(t)|^2, \quad (5)$$

где $S_S^*(t)$ – функция, комплексно сопряженная с функцией описания эталонного сигнала $S_S(t)$; T – период сигнала $S_S(t)$; $K = (4T^2 P_H P_S)^{-1}$ – нормирующий коэффициент; P_H и P_S – мощности соответствующих сигналов $S_H(t)$ и $S_S(t)$;

R – оператор, описывающий искажение сигнала в среде распространения, т. е.

$$R: Y(t) = \mu [s_H(t) \cos \psi + \tilde{S}_H(t) \sin \psi] + \xi(t),$$

где $S_H(t) = \text{Re}[S_H(t)]$ – действительная часть комплексного представления сигнала $S_H(t)$, $\tilde{S}_H(t)$ – сигнал, преобразованный по Гильберту по отношению к сигналу $S_H(t)$, μ и ψ соответственно коэффициент передачи и начальная фаза высокочастотного заполнения сигнала, изменяющиеся вследствие неоднородности физической среды; $\xi(t)$ – совокупность аддитивных помех в среде распространения сигнала, $\{\mu, \psi, \xi(t)\} \in \Xi$;

F – оператор, описывающий работу решающей схемы с учетом вида приема (когерентный или некогерентный), вида сигналов (ортогональные, противоположные, с активной или пассивной паузами) и позволяющий определить вероятность ошибочного приема элемента сигнала, которая в терминах рассматриваемой постановки задачи может быть получена из выражения (3) [33]:

$$F: p_{\text{ош}} = \iint_{Z(\Theta, \Xi)} W(\Theta, \Xi) p_{\text{усл}}(\Theta, \Xi) d\Theta d\Xi, \quad (6)$$

где $p_{\text{усл}}(\Theta, \Xi)$ – полная условная вероятность ошибочного приема элемента сигнала, характеризующая верность невыполнения неравенств $\varepsilon_r - \varepsilon_l > \kappa$; $r \neq l$; $r, l = \overline{1, m}$, вытекающих из решающего правила (3). Здесь ε_r – величина, зависящая от соответствующей условной плотности вероятностей сигнала $Y(t)$ при передаче варианта $S_{S_r}(t)$; κ – некоторый пороговый уровень.

При решении задачи для канала некогерентного приема ортогональных сигналов отыскание вероятности ошибки по (3) заметно упрощается для ДКС двоичных систем передачи ($m = 2$), имеющих широкое практическое применение, поскольку при априорно равновероятных передаваемых символах вероятность ошибки можно рассчитать, используя выражения из [27]:

$$p_{\text{ош}} = 0,5 \iint_{Z(\Theta, \Xi)} W(\Theta, \Xi) \{p_{\text{усл}}[\varepsilon_1 - \varepsilon_2 < \kappa | S_{S_1}(t), \Theta, \Xi] + p_{\text{усл}}[\varepsilon_1 - \varepsilon_2 > \kappa | S_{S_2}(t), \Theta, \Xi]\} d\Theta d\Xi. \quad (7)$$

В частном случае некогерентного приема ортогональных сигналов и постоянства параметров Θ на интервале $[0, T]$ выражение (7) преобразуется к виду [27]:

$$p_{\text{ош}} = 0,5 \iint_{Z(\mu, \psi)} W(\mu, \psi) \{p_{\text{усл}}[V_1 < V | S_{S_1}(t), \Theta, \mu, \psi] + p_{\text{усл}}[V_1 > V_2 | S_{S_2}(t), \Theta, \mu, \psi]\} d\mu d\psi. \quad (8)$$

где $V_r = \frac{2\mu}{T} \sqrt{\left[\int_0^T Y(t) S_{S_r}(t) dt \right]^2 + \left[\int_0^T Y(t) \tilde{S}_{S_r}(t) dt \right]^2}$, $Z(\mu, \psi)$ – область интегрирования, определяемая пределами изменения параметров μ и ψ .

Полагая, что аддитивная помеха $\xi(t)$ в среде распространения представлена только гауссовским шумом, $W(\mu, \psi) = W(\mu)W(\psi)$, начальная фаза ψ представляет собой равномерно распределенную на интервале $[0, 2\pi]$ случайную величину, а параметр μ распределен по законам, определяющим разновидность операторов R :

- R_1 – отсутствие замираний сигнала ($\mu = \text{const}$);
- R_2 – релейские замирания ($W(\mu) = 2\mu \exp(-\mu^2 / \mu_0^2) / \mu_0^2$);
- R_3 – обобщенные релейские (райсовские замирания) –

$$(W(\mu) = 2\mu \exp[-(\mu^2 + \mu_p^2)/\mu_{\phi 0}^2] I_0(2\mu\mu_p/\mu_{\phi 0})),$$

где μ_0^2 – среднестатистическое значение μ ; μ_p – регулярная составляющая коэффициента передачи; $\mu_{\phi 0} = \mu_0 - \mu_p$ – среднестатистическое значение флуктуирующей составляющей параметра μ ; $I_0(\alpha)$ – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка, получают решения уравнения (7), представленные выражениями (9)-(11) [34, 35].

$$R_1: p_{\text{ош}} = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^2 \left\{ \frac{1}{2} \exp \left[-\frac{h(G_r^{(r)} + G_r^{(l)})}{2} \right] I_0 \left(h \sqrt{G_r^{(r)} G_r^{(l)}} \right) + \left[1 + Q \left(\sqrt{h G_r^{(r)}}; \sqrt{h G_r^{(l)}} \right) \right] \right\}, \quad (9)$$

$$R_2: p_{\text{ош}} = \frac{1}{\sqrt{c^2 - a^2}} \left[\frac{1}{1 - \frac{ab}{c + \sqrt{c^2 - a^2}}} - \frac{1}{2} \right], \quad a = h_0 \sqrt{G_{r0}^{(r)} G_{r0}^{(l)}}, \quad b = \frac{G_{r0}^{(r)}}{G_{r0}^{(l)}}, \quad c = 1 + \frac{h_0 \sqrt{G_{r0}^{(r)} G_{r0}^{(l)}}}{2}, \quad (10)$$

$$R_3: p_{\text{ош}} = \frac{\gamma + 1}{G_{r0}^{(r)} h_0 + 2\gamma + 2} \exp \left(-\frac{\gamma h_0 G_{r0}^{(r)}}{G_{r0}^{(r)} h_0 + 2\gamma + 2} \right), \quad \gamma = \frac{\mu_p^2}{\mu_{2\phi 0}^2}. \quad (11)$$

Здесь h^2 – отношение энергии принимаемого сигнала к спектральной плотности шума; $Q(\alpha;\beta)$ – функция Маркума; коэффициенты

$$G_r^{(r)} = K \left| \int_0^T S_{nr}(t) S_{sr}^*(t) dt \right|^2 \quad \text{и} \quad G_r^{(l)} = K \left| \int_0^T S_{nr}(t) S_{sl}^*(t) dt \right|^2 \quad (12)$$

определяют разновидности оператора G ; h_0 и $G_{r0}^{(r)}$ – среднеквадратические значения соответствующих величин μh и $\mu G_r^{(r)}$ [36].

На практике частотный сдвиг между сигналами $S_{sr}(t)$ и $S_{sl}(t)$ выбирается таким, что искажение сигнала в аппаратуре, как правило, не вызывает нарушение их ортогональности, т. е. $G_r^{(l)} \approx 0$. Тогда, как показано в [36, 37], учитывая, что $G_r = G_r^{(r)}$, с использованием выражения (8) для $G_r^{(r)}$, найдены выражения, устанавливающие зависимости коэффициента G_r от параметров Θ аппаратуры формирования сигналов со структурой, определяемой оператором A : A_1 – узкополосные сигналы, A_2 – параллельные сложные и A_3 – последовательные сложные сигналы.

$$A_1: G_r = 4 \sin^2 \frac{[0,5 \Omega T (1 - \eta)]}{(\Omega T)^2}, \quad (13)$$

$$A_2: G_r = \frac{1}{2P_{\text{и}}} \left| \sum_{i=1}^N U_i \sin c \left[(\Omega_i - \Omega) \frac{T}{2} \right] \exp \left\{ j \left[(\Omega_i - \Omega) \frac{T}{2} + \phi_i \right] \right\} \right|^2, \quad (14)$$

$$A_3: G_r = \frac{1}{N^2} \left| \sum_{i=1}^N \left[\frac{(i-1)y}{1-y} \sin c \left[\frac{\pi x (i-1)y}{N(1-y)} \right] \exp \left(j \left\{ \frac{\pi x (i-1)(2-y)}{N(1-y)} + \phi_{i-1} \right\} \right) + \frac{1-iy}{1-y} \sin c \left[\frac{\pi x (iy-1)}{N(1-y)} \right] \exp \left(j \left\{ \frac{\pi x [(2-y)i-1]}{N(1-y)} + \phi_i \right\} \right) \right] \right|^2. \quad (15)$$

В данных выражениях Ω и x – абсолютная и относительная нестабильности несущих частот; y – нестабильность тактовой частоты формирователя сигналов; η – параметр оценки краевых искажений сигнала; U_i , Ω_i и ψ_i – значения амплитудных, частотных и фазовых искажений i -й составляющей сложного сигнала, обусловленные неидеальностью соответствующей характеристики тракта передачи сигнала; $j = \sqrt{-1}$.

Таким образом, данные выражения позволяют установить зависимость вероятности ошибки некогерентного поэлементного приема ортогональных сигналов от характеристик среды распространения, выражения (9) – (11), и параметров аппаратуры связи, выражения (13) – (15), т. е. представляют собой частное решение задачи построения модели дискретного канала связи.

Заключение

В настоящее время, при неудовлетворительном качестве прохождения радиосигнала через среду РРВ на автоматизированных СРС автономных (необслуживаемых или малообитаемых) объектов связи необходим переход от ручного и автоматизированного установления и поддержания соединений к автоматическому, что пока еще является нетривиальной задачей из-за низкого уровня автоматизации установления, поддержания, восстановления и разрыва сеансов радиосвязи в АСУС. Действительно, автоматизированная ДКМ СРС является действующей физической системой только тогда, когда она физически не разрушена, технически исправна и развернута так, что остается работоспособной при допустимом отклонении от нормы параметров как среды РРВ, так и технических средств её радиоканалов. Невыполнение любого из перечисленных условий прекращает существование АСРС как единого целого и приводит к потере всех остальных свойств готовности, безопасности, мобильности и пропускной способности АСРС. Парирование угроз возможно за счет повышения эффективности работы подсистемы контроля и мониторинга ДКМ АСРС, которая своевременно формирует и осуществляет передачу аварийных сигналов для принятия оперативных решений по связи органам управления (АСУС). Для этого возможно использование подходов (существующих на сегодня в системах радиоконтроля) к мониторингу технического состояния излучающих радиосредств при наблюдении отклонения их технических параметров от установленных эксплуатационных допусков. При этом важно помнить, как было справедливо отмечено в [38], под конкретную радиолинию систему радиоконтроля делать нецелесообразно, а, следовательно, необходимо вести работу над созданием *универсальных АИК*, используемых как для обеспечения функционирования СРС, так и для комплексов радиоконтроля, которые необходимо размещать, как минимум, на главном (резервном) АРЦ СРС.

В настоящее время для синтеза подсистемы контроля ТС элементов территориально-распределенной ДКМ СРС практически отсутствует четкая теоретическая база, позволяющая рассматривать процессы удаленного контроля ТС с единых системных позиций, объективно оценивать реальные возможности по передаче аварийных сигналов, оценке и анализу ТС комплексов, функционирующих в условиях постепенных отказов в режиме времени близком к реальному. Используемые для расчета эффективности управления аппаратурным ресурсом АРЦ эвристические процедуры требуют разработки новых аналитических подходов, методов и методик для повышения объективности в определении их вида технического состояния.

Исходя из проведенного анализа научно-методического аппарата удаленного мониторинга технического состояния информационно-телекоммуникационных сетей и систем видно, что для такого сложного объекта контроля как межвидовая территориально-распределенная ДКМ СРС ни один из рассмотренных методов мониторинга её элементов без существенной доработки не приемлем, а следовательно, необходима разработка как *общего подхода к удаленному мониторингу* технического состояния элементов территориально-распределенной АСРС в реальном масштабе времени (или мягкого реального времени), так и *математической модели* канала связи, которая учитывала бы наряду с характеристиками среды РРВ, еще и техническое состояние аппаратуры, а также построения на их основе *методики* выбора необходимого аппаратурного ресурса (радиосредств АРЦ) по профилактическим допускам на его параметры [39], корректируемым в зависимости от радиосреды функционирования для МРЛ и отдельных радиолиний сетей радиодоступа.

Литература

1. 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. М.: Наука, 2020. 683 с.

2. Винограденко А.М. Методология интеллектуального контроля технического состояния автоматизированной системы связи специального назначения. СПб.: Научно-технические технологии, 2020. 180 с.
3. Козырев Г.И., Полончик О.Л. Методы контроля функционирования радиоэлектронных средств. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. 80 с.
4. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
5. Николашин Ю.Л., Мирошников В.И., Будко П.А., Затуливетер Ю.С., Семенов С.С. Общий подход к формированию единого информационно-управляющего пространства морской компоненты Вооруженных Сил Российской Федерации. Часть II. Принципы формирования сильносвязной телекоммуникационной подсистемы единого информационно-управляющего пространства Военно-морского флота России // Морская радиоэлектроника. 2015. № 1 (51). С. 22-28.
6. Яшин А.И., Будко П.А., Винограденко А.М., Педан А.В. Имитационное моделирование автоматизированной системы контроля технического состояния элементов распределённых радиопередатчиков // Морская радиоэлектроника. 2018. № 1 (63). С. 32-37.
7. Арсланов Х.А., Абрамович А.В., Лихачёв А.М. Концептуальные основы развития Объединённой цифровой автоматизированной системы связи Вооруженных Сил Российской Федерации // Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации. 2014. С. 18-24.
8. Военные системы радиосвязи. Часть I. Теоретические основы построения средств и комплексов военной радиосвязи / Под ред. В. В. Игнатова. – Л.: ВАС, 1989. – 386 с.
9. Чуднов А.М., Путилин А.Н., Попов А.И. Комплексное управление маршрутизацией пакетов и режимами работы радиосредств в неоднородной среде передачи данных // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2019. № 1 (33). С. 46-56.
10. Хвостунов Ю.С. Реализации сетевой синхронизации в автоматизированной сети радиосвязи декаметрового диапазона // Техника средств связи. 2020. № 2 (150). С. 63-70.
11. Дорохов Ф.М., Постюшков В.П. Оптимальное управление ресурсами в радиосистемах. – Л.: ВАС, 1986. – 88 с.
12. Recommendation ITU-R F.1487 Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators, 2000: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itu.int>.
13. Путилин А.Н., Хвостунов Ю.С. Использование частотного ресурса системой декаметровой связи в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты // Техника средств связи. 2020. № 3 (151). С. 2-13.
14. Егоров А.А. Протоколы O2P и O2M для переноса IP-трафика в низкоскоростных сетях с высоким коэффициентом ошибок // Техника средств связи. 2020. № 3 (151). С. 19-28.
15. Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жуков Г.А. Основные направления модернизации декаметровой системы связи // Техника средств связи. 2019. № 1 (145). С. 13-25.
16. Сухопаров М.Е., Семенов В.В., Салахутдинова К.И., Лебедев И.С. Выявление аномального функционирования устройств индустрии 4.0 на основе поведенческих паттернов // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2020. № 1 (41). С. 96-102.
17. Засов В.А., Тарабардин М.А., Никоноров Е.Н. Алгоритмы и устройства для идентификации входных сигналов в задачах контроля и диагностики динамических объектов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2009. № 2. С. 115-123.
18. Сухопаров М.Е., Лебедев И.С. Идентификация состояния устройств интернета вещей на основе бэггинга // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Том 14. № 12. С. 45-50.
19. Каретников И.С. Построение карты радиосреды с применением алгоритма Кригинга / 22-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и её применение – DSPA-2020». Москва, Россия, доклады. М.: РНТОРЭС имени А. С. Попова, 2020. С. 223-226.
20. “Radio Environment Map Construction by Kriging Algorithm Based on Mobile Crowd Sensing” / URL: <http://www.hindavi.com/journals/wcmc/2019/4064201/>.
21. “Mobile crowd sensing for smart urban mobility”. University of Nis, Faculty of Electronic Engineering, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Nis, Serbia.
22. Semenov V.V., Lebedev I.S., Sukhoparov M.E., Salakhutdinova K.I. Application of an Autonomous Object Behavior Model to Classify the Cybersecurity State. Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. 2019. P. 104-112.

23. Липатников В.А., Царик О.В. Методы радиоконтроля. Теория и практика: Монография. СПб.: ГНИИ «НАЦРАЗВИТИЕ», 2018. 608 с.
24. Попов А.А., Телушкин И.М., Бушуев С.Н. и др. Основы общей теории систем. Часть 1. – СПб.: ВАС, 1992. – 248 с.
25. Коричнев В.П., Королев Л.Д. Статистический контроль каналов связи. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.
26. Кловский Д.Д., Канторович В.Я., Широков С.М. Модели непрерывных каналов связи на основе стохастических дифференциальных уравнений. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.
27. Сикарев А.А., Соболев В.В. Функционально устойчивые демодуляторы сложных сигналов. – М.: Радио и связь, 1988. – 224 с.
28. Галкин А.П., Лапин А.Н., Самойлов А.Г. Моделирование каналов систем связи. – М.: Связь, 1979. – 96 с.
29. Математические модели каналов связи в радиорелейных и тропосферных линиях / Глушанков Е.Н., Колесников А.Н., Канторович В.Я.; Под ред. А.П. Родимова. – Л.: ВАС, 1979. – 90 с.
30. Сикарев А.А., Фалько А.И. Оптимальный прием дискретных сообщений. – М.: Связь, 1978. – 328 с.
31. Борисов Ю.П., Цветков В.В. Математическое моделирование радиотехнических систем и устройств. – М.: Радио и связь, 1985. – 176 с.
32. Коржик В.И., Финк Л.М., Щелкунов К.Н. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений: Справочник. – М.: Радио и связь, 1981. – 232 с.
33. Финк Л.М. теория передачи дискретных сообщений. – М.: Советское радио, 1970. – 700 с.
34. Федоренко В.В. Оптимизация структуры сложных сигналов в трактах передачи с искажениями // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 1992. № 5. С. 5-11.
35. Федоренко В.В. Вероятность ошибки некогерентного приема искаженных сигналов в условиях релейских замираний // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 1993. № 7. С. 3-9.
36. Fedorenko V.V., Budko P.A., Vershkov N.A. Mathematical model of discrete communication channel under the influence of destabilizing factors. Engineering Simulation. 1998. Vol. 15. P. 77-83.
37. Федоренко В.В. Математическая модель системы передачи сигналов для решения задач контроля // Электронное моделирование. 1991. № 6. С. 85-88.
38. Куприянов А.И. Радиоэлектронная борьба. М.: Вузовская книга, 2013. 359 с.
39. Абрамов О.В. Планирование профилактических коррекций параметров технических устройств и систем // Информатика и системы управления. 2017. № 3 (53). С. 55-66.

References

1. Budko P.A., Kuleshov I.A., Kurnosov V.I., Miroshnikov V.I. *Infokommunikatsionnyye seti: Entsiklopediya. Kniga 4. Geterogennyye seti svyazi. Printsipy postroyeniya. Metody sinteza. Effektivnost. Tsena. Kachestvo. Monografija* [Infocommunication networks. Encyclopedia. Book 4. Gererogenic communication networks. Principles of construction. Methods of synthesis. Efficiency. Price. Quality. Monography]. Moscow, Nauka Publ., 2020. 683 p. (in Russian).
2. Vinogradenko A.M. *Metodologiya intellektualnogo kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya avtomatizirovannoy sistemy svyazi spetsialnogo naznacheniya. Monografija* [Methodology of intelligent control of the technical condition of an automated communication system for special purposes. Monography]. St. Petersburg, Science-intensive technologies Publ., 2020. 180 p. (in Russian).
3. Kozyrev G.I., Polonchik O.L. *Metody kontrolya funktsionirovaniya radioelektronnykh sredstv* [Methods of monitoring the functioning of radio-electronic means]. St. Petersburg, Military Space Academy named A. F. Mozhaisky Publ., 2016. 80 p. (in Russian).
4. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Intellektualnyye tekhnologii monitoringa i upravleniya strukturnoy dinamiko slozhnykh tekhnicheskikh obyektov* [Intelligent technologies for monitoring and controlling the structural dynamics of complex technical objects]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 410 p. (in Russian).
5. Nikolashin Yu.L., Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zatuliveter Yu.S., Semenov S.S. *Obshiy podkhod k formirovaniyu edinogo informatsionno-upravlyayushchego prostranstva morskoy komponenty Vooruzhennykh Sil Rossiyskoy Federatsii. Chast II. Printsipy formirovaniya silnosvyaznoy teoyekommunikatsionnoy podsistemy edinogo informatsionno-upravlyayushchego prostranstva Voyenno-morskogo flota Rossii* [General approach to the formation of a single information and control space of the

marine component of the Armed Forces of the Russian Federation. Part II. Principles of forming a highly connected teocommunication subsystem of the unified information and control space of the Russian Navy]. *Marine radio electronics*. 2015. No. 1. Pp. 22-28 (in Russian).

6. Yashin A.I., Budko P.A., Vinogradenko A.M., Pedan A.V. Imitatsionnoye modelirovaniye avtomatizirovannoy sistemy kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya elementov raspredelennykh radiotsentrov [Imitational modeling of an automated system for monitoring the technical condition of elements of distributed radio centers]. *Marine radio electronics*. 2018. No. 1 (63). Pp. 32-37 (in Russian).

7. Arslanov Kh.A., Abramovich A.V., Likhachev A.M. Kontseptualnyye osnovy razvitiya Obyedinennoy tsifrovoy avtomatizirovannoy sistemy svyazi Vooruzhennykh Sil Rossiyskoy Federatsii [Conceptual foundations of the development of the Unified digital automated Communication System of the Armed Forces of the Russian Federation]. *Svyaz v Vooruzhennykh Silakh Rossiyskoy Federatsii* [Communications in the Armed Forces of the Russian Federation]. 2014. Pp. 18-24 (in Russian).

8. *Voyennyye sistemy radiosvyazi. Chast I. Teoreticheskiye osnovy postroyeniya sredstv i kompleksov voyennoy radiosvyazi* [Military radio communication systems. Part I. Theoretical bases of construction of means and complexes of military radio communication]. Edited by V. V. Ignatov. Leningrad, Military Academy of Communications Publ., 1989. 386 p. (in Russian).

9. Chudnov A.M., Putilin A.N., Popov A.I. Kompleksnoye upravleniye marshrutizatsiyey paketov i rezhimami raboty radiosredstv v neodnorodnoy srede peredachi dannykh [Complex management of packet routing and modes of operation of radio means in a non-uniform data transmission environment]. *Radio Engineering and Telecommunication Systems*. 2019. No. 1 (33). Pp. 46-56 (in Russian).

10. Khvostunov Yu.S. Realizatsii setevoy sinkhronizatsii v avtomatizirovannoy seti radiosvyazi dekametrovogo diapazona [Implementations of network synchronization in the automated radio communication network of the decameter range]. *Means of Communication Equipment*. 2020. No. 2 (150). Pp. 63-70 (in Russian).

11. Dorokhov F.M., Postyushkov V.P. *Optimal'noe upravlenie resursami v radiosistemah* [Optimal resource management in radio systems]. Leningrad, Military Academy of Communications Publ., 1986. 88 p. (in Russian).

12. Recommendation ITU-R F. 1487 Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators, 2000: [Electronic resource]. URL: <https://www.itu.int>.

13. Putilin A.N., Khvostunov Yu.S. Ispol'zovanie chastotnogo resursa sistemoy dekametrovoj svyazi v rezhime psevdosluchajnoj perestrojki rabochej chastoty [Use of the frequency resource by the decameter communication system in the mode of pseudo-random adjustment of the operating frequency]. *Means of Communication Equipment*. 2020. No. 3 (151). Pp. 2-13 (in Russian).

14. Egorov A.A. Protokoly O2P i O2M dlya perenosa IP-trafika v nizkoskorostnykh setyah s vysokim koeffitsientom oshibok [Protocols O2P and O2M to transfer IP traffic in low-speed networks with high error ratio]. *Means of Communication Equipment*. 2020. No. 3 (151). Pp. 19-28 (in Russian).

15. Nikolashin Y.L., Budko P.A., Zhukov, G.A., Osnovnyye napravleniya modernizatsii dekametrovoj sistemy svyazi [The Main directions of modernization decameter communication system] *Means of Communication Equipment*. 2019. No. 1 (145). Pp. 13-25 (in Russian).

16. Suhoparov M.E., Semenov V.V., Salakhutdinov, K.I., Lebedev I.S. Vyyavlenie anomal'nogo funkcionirovaniya ustrojstv industrii 4.0 na osnove povedencheskikh patternov [Detection of abnormal operation of devices of industry 4.0 based on patterns of behavior]. *Problemy informacionnoj bezopasnosti. Komp'yuternye sistemy* [Problems of information security. Of the computer system]. 2020. No. 1 (41). Pp. 96-102 (in Russian).

17. Zasov V.A., Tarabardin M.A., Nikonorov E.N. Algoritmy i ustrojstva dlya identifikatsii vhodnykh signalov v zadachah kontrolya i diagnostiki dinamicheskikh ob"ektov [Algorithms and devices for identification of input signals in problems of control and diagnostics of dynamic objects]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta* [Vestnik of the Samara State Aerospace University]. 2009. No. 2. Pp. 115-123 (in Russian).

18. Suhoparov M.E., Lebedev I.S. Identifikatsiya sostoyaniya ustrojstv interneta veshchej na osnove begginga [Identification of the state of Internet of Things devices based on bagging]. *T-Comm – Telecommunications and Transport*, 2020. Vol. 14. No. 12. Pp. 45-50 (in Russian).

19. Karetnikov I.S. Postroenie karty radiosredy s primeneniem algoritma Kriginga [Building a map of the radio environment using the Kriging algorithm]. *22-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya «Cifrovaya obrabotka signalov i eyo primenenie – DSPA-2020* [22nd International Conference "Digital signal Processing and its application-DSPA-2020"]. Moscow, RNTORES A.S. Popov Publ., 2020. Pp. 223-226 (in Russian).

20. "Radio Environment Map Construction by Kriging Algorithm Based on Mobile Crowd Sensing" / URL: <http://www.hindavi.com/journals/wcmc/2019/4064201/>.
21. "Mobile crowd sensing for smart urban mobility". University of Nis, Faculty of Electronic Engineering, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Nis, Serbia.
22. Semenov V.V., Lebedev I.S., Sukhoparov M.E., Salakhutdinova K.I. Application of an Autonomous Object Behavior Model to Classify the Cybersecurity State. Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. 2019. Pp. 104-112.
23. Lipatnikov V.A., Tsarik O.V. *Metody radiokontrolya. Teoriya i praktika: Monografiya* [Methods of radio control. Theory and practice: Monograph]. St. Petersburg, State Research Institute "National Development", 2018. 608 p. (in Russian).
24. Popov A.A., Telushkin I.M., Bushuev S.N. et al. *Osnovy obshchej teorii sistem. Chast' 1.* [Fundamentals of general systems theory. Part 1]. St. Petersburg, Military Academy of Communications Publ., 1992. 248 p. (in Russian).
25. Korichnev V.P., Korolev L.D. *Statisticheskij kontrol' kanalov svyazi* [Statistical control of communication channels]. Moscow, Radio and Communication Publ., 1989. 240 p. (in Russian).
26. Klovisky D.D., Kantorovich V.Ya., Shirokov S.M. *Modeli nepreryvnyh kanalov svyazi na osnove stohasticheskikh differentsial'nyh uravnenij* [Models of continuous communication channels based on stochastic differential equations]. Moscow, Radio and Communication Publ., 1984. 248 p. (in Russian).
27. Sikarev A.A., Sobolev V.V. *Funkcional'no ustojchivye demodulyatory slozhnyh signalov* [Functionally stable demodulators of complex signals]. Moscow, Radio and Communication Publ., 1988. 224 p. (in Russian).
28. Galkin A.P., Lapin A.N., Samoilov A.G. *Modelirovanie kanalov sistem svyazi* [Modeling of channels of communication systems]. Moscow, Communication Publ., 1979. 96 p. (in Russian).
29. Glushankov E.N., Kolesnikov A.N., Kontorovich V.Ya.; *Matematicheskie modeli kanalov svyazi v radiorelejnyh i troposfernyh liniyah* [Mathematical models of communication channels in radio-relay and tropospheric lines]. Edited by A. P. Rodimov. Leningrad, Military Academy of Communications Publ., 1979. 90 p. (in Russian).
30. Sikarev A.A., Falko A.I. *Optimal'nyj priem diskretnyh soobshchenij* [Optimal reception of discrete messages]. Moscow. Communication Publ., 1978. 328 p. (in Russian).
31. Borisov Yu.P., Tsvetkov V.V. *Matematicheskoe modelirovanie radiotekhnicheskikh sistem i ustrojstv* [Mathematical modeling of radio engineering systems and devices]. Moscow. Radio and communication Publ., 1985. 176 p. (in Russian).
32. Korzhik V.I., Fink L.M., Shchelkunov K.N. *pomekhoustojchivosti sistem peredachi diskretnyh soobshchenij. Spravochnik* [Calculation of noise immunity of discrete message transmission systems: Handbook]. Moscow. Radio and Communications Publ., 1981. 232 p. (in Russian).
33. Fink L.M. *Teoriya peredachi diskretnyh soobshchenij* [Theory of transmission of discrete messages]. Moscow. Soviet Radio Publ., 1970. 700 p. (in Russian).
34. Fedorenko V.V. Optimizaciya struktury slozhnyh signalov v traktah peredachi s iskazheniyami [Optimization of the structure of complex signals in transmission paths with distortions]. *Radioelectronics and Communications Systems*. 1992. No. 5. Pp. 5-11 (in Russian).
35. Fedorenko V.V. Veroyatnost' oshibki nekogerentnogo priema iskazhennyh signalov v usloviyah releevskih zamiraniy [Probability of error of incoherent reception of distorted signals in conditions of Rayleigh fading]. *Radioelectronics and Communications Systems*. 1993. No. 7. Pp. 3-9 (in Russian).
36. Fedorenko V.V., Budko P.A., Vershkov N.A. Mathematical model of discrete communication channel under the influence of destabilizing factors. *Engineering Simulation*. 1998. Vol. 15. Pp. 77-83.
37. Fedorenko V.V. Matematicheskaya model' sistemy peredachi signalov dlya resheniya zadach kontrolya [Mathematical model of the signal transmission system for solving control problems]. *Electronic modeling*. 1991. No. 6. Pp. 85-88 (in Russian).
38. Kupriyanov A.I. *Radioelektronnaya bor'ba* [Radio-Electronic Warfare]. Moscow, Vuzovskaya kniga Publ., 2013. 359 p. (in Russian).
39. Abramov O.V. Planirovanie profilakticheskikh korektsij parametrov tekhnicheskikh ustroystv i sistem [Planning of preventive corrections of parameters of technical devices and systems]. *Information science and control systems*. 2017. No. 3 (53). Pp. 55-66 (in Russian).

Статья поступила 30 октября 2020 г.

Информация об авторах

Аллакин Владимир Васильевич – Соискатель ученой степени кандидата технических наук. Независимый специалист. E-mail: vladimir@duduh.ru. Адрес: 188660, Россия, Ленинградская обл., Всеволожский район, пос. Бугры, ул. Школьная, дом 11, корп. 1, кв. 510.

Голунов Михаил Валерьевич – Аджункт Военной академии связи. E-mail: belka1213@mail.ru. Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, просп. Тихорецкий, д. 3.

Analysis of the scientific and methodological apparatus for remote monitoring of the technical condition of information and telecommunication networks and systems

V.V. Allakin, M.V. Golunov

Annotation: Problem statement: based on the analysis of the scientific and methodological apparatus of revolutionary and evolutionary approaches to remote control and diagnostics of autonomous communication facilities, to search for new methods of remote monitoring of the technical condition of elements of geographically distributed information and telecommunications networks and systems. **The purpose of the work** is to substantiate the applicability of remote monitoring of elements of geographically distributed information and telecommunications networks, based on the use of modern technologies for intelligent processing of measurement information and classification methods by type of technical condition. **Methods used:** during the analysis of the existing scientific and methodological apparatus for remote monitoring of the state of communication objects, several methods for monitoring the functioning of network elements are considered. As revolutionary methods is proposed: a method based on the technology of mass mobile reader – Mobile Crowd Sensing, allowing to obtain information about the technical condition of objects of control based on actual measurements in the environment, building dynamic maps of radio wave propagation medium – Radio Environment Map; methods borrowed from the wireless technologies "Internet of Things", "Smart City", "Smart Home", "Soft Spaces" and others, built on the use of behavioral patterns, which means a set of sequences of measurement information synchronized in real time, both from internal and external sensors that register the parameters of processes occurring in devices. As classical approaches to the implementation of remote monitoring, the methods used by radio control systems, when data is collected on deviations of the radiation parameters of radio-electronic systems emitting electromagnetic waves from the standard values, are considered. One of them is that the technical condition of the radio-electronic means is evaluated by the quality indicator of the discrete communication channel in which it operates. At the same applied formalisierung approach to building a mathematical model of discrete communication channel that allows to determine the dependence of the reliability of message transfer in the channel from values of operating parameters of the communications equipment and the propagation medium signals change under the influence of external and internal destabilizing factors. **The novelty** of the study lies in the fact that previously such tasks were solved only when monitoring the functioning of individual radio facilities, and now these methods need to be adapted for use on a promising telecommunications system in the form of a geographically distributed decameter automated radio network. **The result** of the analysis is that none of the considered monitoring methods without significant improvement for the new object of research is applicable, and therefore, it is necessary to develop both a general approach to remote monitoring of the technical condition of elements of a geographically distributed real-time network, and a mathematical model of the communication channel that would take into account, along with the characteristics of the radio wave propagation medium, the technical condition of the equipment.

Keywords: information and telecommunication system, technical condition monitoring, low-speed communication network with a high error rate, error probability.

Information about Authors

Allakin Vladimir Vasilyevich – Doctoral Student. Independent Expert. E-mail: vladimir@duduh.ru. Address: 188660, Russia, Leningrad region, Vsevolozhsky district, vil. Buhry, Shkolnaya str., 11, build. 1, sq. 510.

Golunov Mikhail Valeryevich – Associate Professor of the Military Academy of communication. E-mail: belka1213@mail.ru. Address: 194064, Russia, St. Petersburg, prosp. Tikhoretsky, 3.

Для цитирования: Аллакин В.В., Голунов М.В. Анализ научно-методического аппарата удалённого мониторинга технического состояния информационно-телекоммуникационных сетей и систем // Техника средств связи. 2020. № 4 (152). С. 17-37.

For citation: Allakin V.V., Goryunov M.V. Analysis of scientific and methodological apparatus for remote monitoring of the technical state of information and telecommunication networks and systems. Means of Communication Equipment. 2020. No 4 (152). Pp. 17-37 (in Russian).

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 623.618

**Построение многокомпонентного прогноза сигналов в АСУ
с использованием моделей авторегрессии-скользящего среднего**

Тележкин В.Ф., Рагозин А.Н., Саидов Б.Б.

Аннотация: Рассматривается формирование многокомпонентного прогноза сигналов различной временной динамики с использованием модели авторегрессии-скользящего среднего. Предложена стохастическая модель, которая позволяет рассчитать доверительный интервал многокомпонентного прогноза. Целью данной работы является постановка задачи формирования многокомпонентного прогноза сигналов различной степени сложности с применением модели авторегрессии-скользящего среднего. Показано, что с увеличением количества прогнозируемых отсчётов сигнала, прогноз становится ненадежным, но в результате суммирования отдельных прогнозов более простых компонентов, на которые разлагается исходный сложный сигнал, можно повысить точность прогнозирования сигналов. Метод разложения исходной серии данных на более простые временные серии (компоненты) с использованием преобразования Фурье показывает его эффективность в прогнозировании сложных сигналов с использованием хорошо известного метода авторегрессии-скользящего среднего.

Ключевые слова: математическая модель; преобразование Фурье; нестационарные процессы; прогноз сигнала.

Введение

Рассматривается вероятностная, или стохастическая модель временных рядов, необходимая для получения оптимального прогнозирования и регулирования в технических системах. Наблюдаемый временной ряд $z_{t-1}, z_{t-2}, \dots, z_N$ из N последовательных наблюдений рассматривается как реализация из бесконечной совокупности таких временных рядов, порождаемых случайным процессом [1-5]. Целью работы является постановка и решение задачи построения многокомпонентного прогноза сигналов различной степени сложности с использованием модели авторегрессии-скользящего среднего.

**Стационарные и нестационарные стохастические модели
для прогнозирования и регулирования в технических системах**

Стационарные модели основаны на предположении, что процесс остается в равновесии, относительно постоянного среднего уровня [6-8]. Однако, многие временные ряды часто лучше описывать как нестационарные и, в частности, как не имеющие естественного среднего значения, например, с использованием стохастической модели, описывающей класс нестационарных процессов [1-2], называемых процессами авторегрессии - интегрированное скользящее среднее (АРПСС). Этот широкий класс процессов предоставляет множество как стационарных, так и нестационарных моделей, которые адекватно описывают многие временные ряды, встречающиеся на практике.

Построение многокомпонентного прогноза

В результате моделирования в системе *Matlab* построены прогнозы двух сигналов различной степени динамичности (рис. 1) с помощью модели ARMA. Для подбора наилучшей модели с целью получения более точного прогноза было синтезировано 100 моделей с различными порядками p и q , также были построены предсказания на 25 отсчётов вперёд, и эти значения были сравнены с действительными значениями сигнала с помощью критерия адекватности. Таким образом, мы получили наилучшие порядки моделей, на основе которых можно прогнозировать данные сигналы. Далее был построен итоговый прогноз на основе полученных порядков модели с учётом 25 предыдущих отсчётов. Полученные прогнозы изображены на рис. 2.

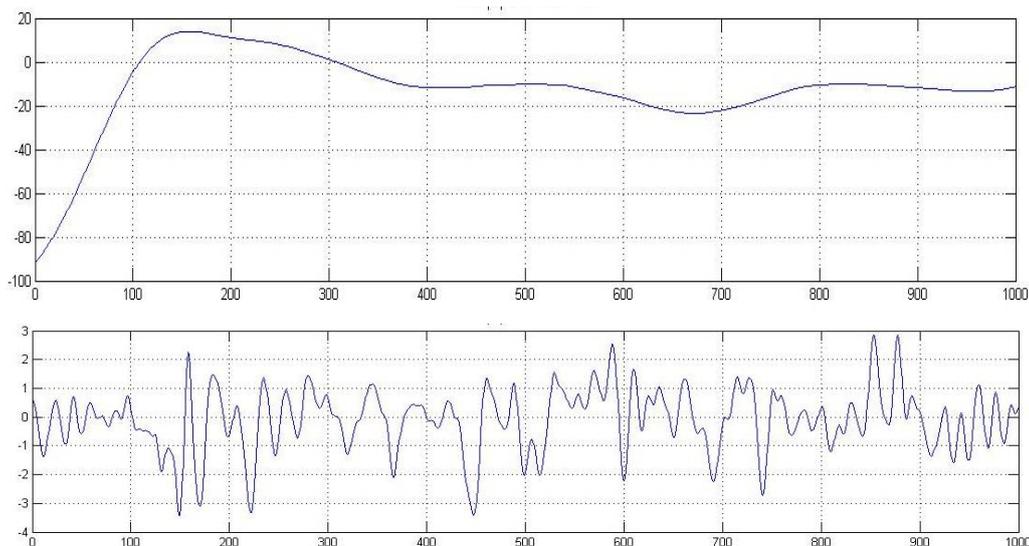


Рис. 1. Исследуемые сигналы

В результате полученных предсказаний можно сделать вывод, что такой подход приемлем для слабо изменяющихся сигналов (первый сигнал), но для сигналов с большей динамичностью (второй сигнал) он не подходит, и предсказанные значения даже при больших порядках модели существенно расходятся с реальными.

Предлагается представить сложный прогнозируемый сигнал в виде суперпозиции более простых компонент, построить прогнозы отдельных компонент, найти итоговый (суммарный) прогноз исходного сложного сигнала.

Реализуя предложенный подход, для сложного (второго) сигнала на рис. 1 был найден спектр с помощью быстрого преобразования Фурье [3-5] и разбит на четыре равных по ширине полосы части, из которых были восстановлены четыре более простых сигнала (рис. 3). Сумма этих сигналов даёт тот же исходный сигнал. Далее для этих четырёх сигналов был применён метод предсказания, описанный выше. Результаты предсказаний отдельных сигналов мы можем наблюдать на рис. 4-7. В результате суммирования прогнозов четырёх сигналов для каждого варианта получены предсказания, изображённые на рис. 8.

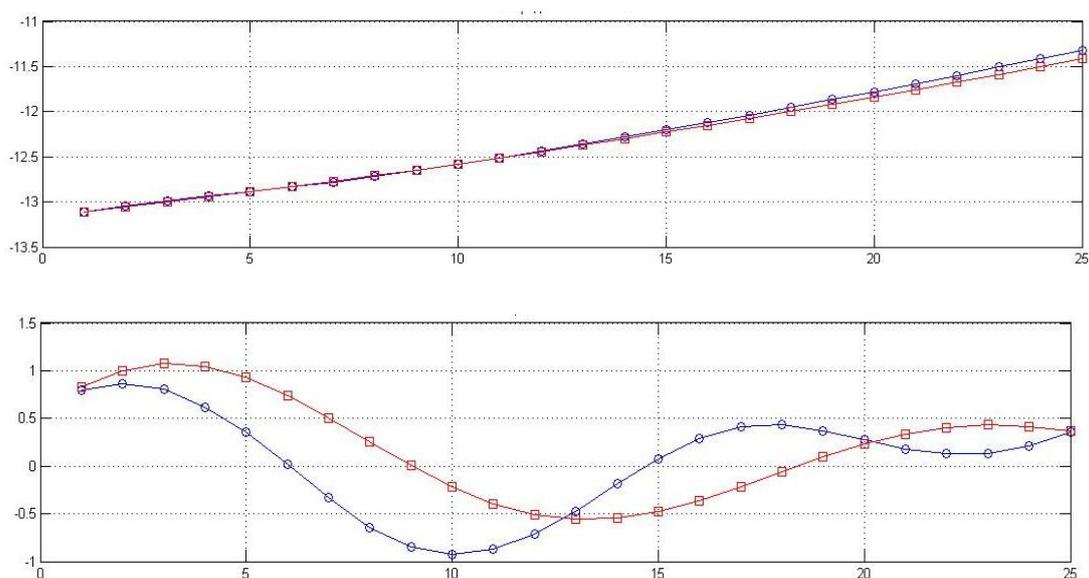


Рис. 2. Предсказание сигналов (красная линия – предсказанные значения, синяя - реальные значения)

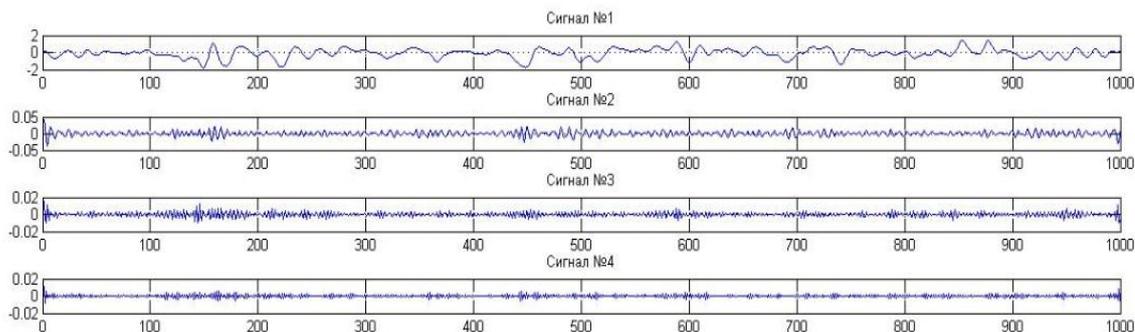


Рис. 3. Сигналы, дающие в сумме сигнал №2

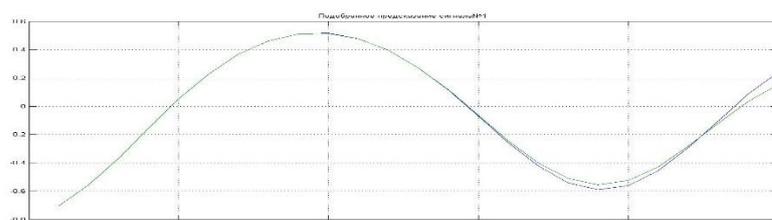


Рис. 4. Подобранный прогноз первого сигнала, полученного из сигнала №2

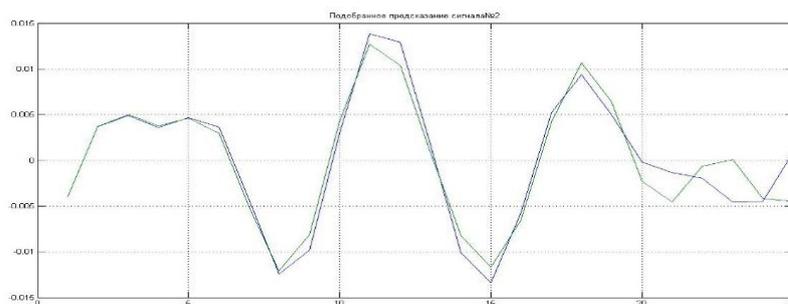


Рис. 5. Подобранный прогноз второго сигнала, полученного из сигнала №2

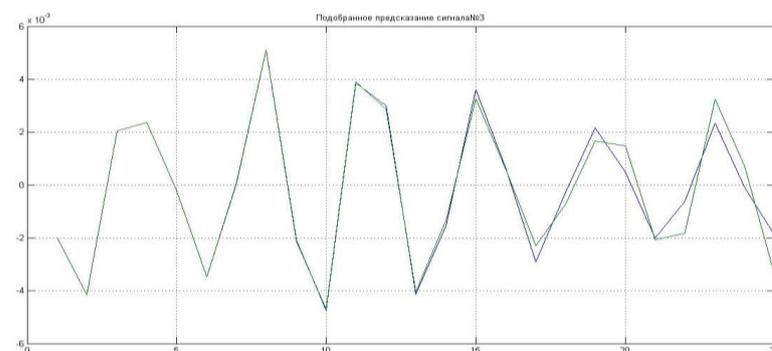


Рис. 6. Подобранный прогноз третьего сигнала, полученного из сигнала №2

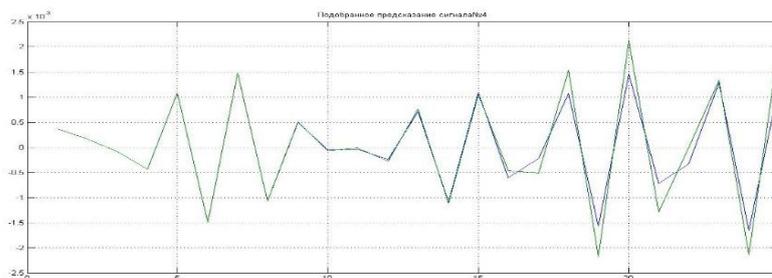


Рис. 7. Подобранный прогноз четвертого сигнала, полученного из сигнала №2

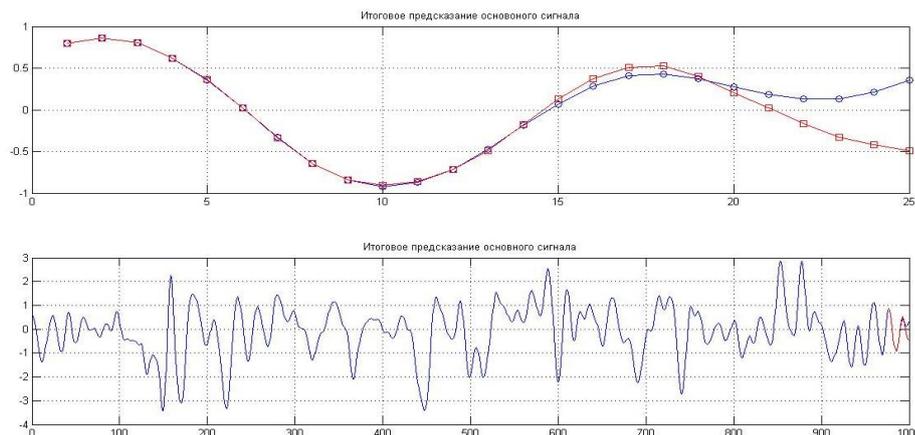


Рис. 8. Итоговый прогноз сигнала №2

Заключение

Рассмотрено многокомпонентное прогнозирование сигналов различной степени сложности с применением модели авторегрессии-скользящего среднего, и разработана методика получения качественных прогнозов для сложных, быстро меняющихся сигналов. Автоматизирован выбор наилучшей модели для прогнозирования.

Из полученных данных можно сделать вывод, что с увеличением количества прогнозируемых отсчётов прогноз становится недостоверным, но в результате суммирования отдельных прогнозов более простых компонент, на которые разложен исходный сложный сигнал, возможно получение более точных прогнозов сложных сигналов. Метод разложения исходного сложного данных на более простые сигналы (компоненты) с использованием преобразования Фурье показывает свою эффективность при построении прогнозов сложных сигналов с использованием известной модели *ARMA*.

Литература

1. Боровиков, В.П. Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows. М.: Изд-во «Финансы и статистика», 2000. 382 с.
2. Бокс, Дж. Дженкинс, Г.М. Часть 1. Анализ временных рядов, прогноз и управление. М.: 1974. 402 с.
3. Сергиенко, А. Б. Клионский, Д.М. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002. 608 с.
4. Солонина А.И. Клионский, Д.М. Меркучева, Т.В. Перов, С.Н. Цифровая обработка сигналов и MATLAB: учебн. пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 512 с.
5. Солонина, А.И. Арбузов, С.М. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в Matlab. СПб.: БХВ-Петербург. 2008. 816 с.
6. Nakayama K.A. New discrete Fourier transform algorithm using butterfly structure fast convolution. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Vol. 33, Issue. 5. 1985. Pp. 1197 – 1208.
7. Zhengxing H. Wei D. Huilong D. Jiquan L. A Regularized Deep Learning Approach for Clinical Risk Prediction of Acute Coronary Syndrome Using Electronic Health Records. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. Vol. 65, Issue 5, 2018. Pp. 956 – 968.
8. Man, Sh.K. Andy, C.C. Tan, J. M. A review on prognostic techniques for non-stationary and non-linear rotating systems. Mechanical Systems and Signal Processing. Vol 62, 2015. Pp. 1-20.

References

1. Borovikov, V.P. Ivchenko G.I. *Prediction in the Statistica system in the Windows environment* [Praedictio de statistica ratio in the Windows amet]. Moscow: Publishing House "Finance and Statistics", 2000. P. 382 (in Russian).
2. Boxing, J. Jenkins, G.M. Part 1. *Time Series Analysis, Forecast and Management* [Time Series Analysis: Providemus et Management]. Moscow: 1974. P.402 (in Russian).
3. Sergienko, A. B. Klonsky, M. D. *Digital signal processing* [Digital signum processui]. St. Petersburg: Peter, 2002. P.608 (in Russian).

4. Solonina A.I. Klonsky, D.M. Merkucheva, T.V. Perov, S.N. Digital signal processing and MATLAB [Aliquam Digital Processing et MATLAB]. textbook. Allowance. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2013. P. 512 (in Russian).
5. Solonina, A.I. Arbuzov, S.M. *Digital signal processing. Modeling in MATLAB* [Digital signum processui. MATLAB in hanc voltus composuisse.]. SPb.: BHV-Petersburg. 2008. P. 816 (in Russian).
6. Nakayama, K. A new discrete Fourier transform algorithm using butterfly structure fast convolution. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Vol. 33, Issue. 5. 1985. Pp. 1197 – 1208.
7. Zhengxing H. Wei D. Huilong D. Jiquan L. A Regularized Deep Learning Approach for Clinical Risk Prediction of Acute Coronary Syndrome Using Electronic Health Records. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. Vol. 65, Issue 5, 2018. Pp. 956 – 968.
8. Man, Sh.K. Andy, C.C. Tan, J. M. A review on prognostic techniques for non-stationary and non-linear rotating systems. Mechanical Systems and Signal Processing. Vol 62, 2015. Pp. 1-20.

Статья поступила 6 ноября 2020 г.

Информация об авторах

Тележкин Владимир Федорович – Д.т.н., профессор. Преподаватель Южно-Уральского государственного университета г. Челябинск. E-mail: telezhkinvf@susu.ru. Тел.: +7-351-900-25-80.

Рагозин Андрей Николаевич – К. т. н, доцент Южно-Уральского государственного университета г. Челябинск. E-mail: ragozinan@susu.ru. Тел.: +7-919-111-29-19.

Саидов Бехруз Бадридинович – Аспирант Южно-Уральского государственного университета г. Челябинск, Таджикский технический университет имени М.С. Осими. Душанбе, Таджикистан. E-mail: matem.1994@mail.ru. Тел.: +7-932-308-27-64.

Construction of forecast of signals in an automated control system using models of autoregression-sliding average

V.F. Telezhkin, A.N. Ragozin, B.B. Saidov

Annotation: *The formation of a multi-component forecast of signals of different temporal dynamics using the model of auto regression-moving average is considered. A stochastic model is proposed that allows you to calculate the probability that some future value of the process under study will be in a certain range of values. The aim of this work is to pose the problem of generating a multi-component forecast of signals of varying degrees of complexity using the autoregressive-moving model. It is shown that with an increase in the number of predicted samples, the forecast becomes unreliable, but as a result of summing up individual forecasts of simpler components into which the original complex signal is decomposed, it was possible to obtain more accurate signal forecasts. The method of decomposing the original data series into simpler time series (components) using the Fourier transform shows its effectiveness in predicting complex signals using the well-known autoregressive-moving average method.*

Keywords: *mathematical models; Fourier transforms; non-stationary processes; signal prediction.*

Information about Authors

Vladimir Fedorovich Telezhkin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Infocommunication Technologies, South Ural State University. E-mail: telezhkinvf@susu.ru. Tel.: +7-351-900-25-80.

Andrey Nikolaevich Ragozin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Infocommunication Technologies, South Ural State University. E-mail: ragozinan@susu.ru. Tel.: +7-919-111-29-19.

Bechkruz Badridinovich Saidov – Postgraduate Student, Department of Infocommunication Technologies, South Ural State University, Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi. E-mail: matem.1994@mail.ru. Тел.: +7-932-308-27-64.

Для цитирования: Тележкин В.Ф., Рагозин А.Н., Саидов Б.Б. Построение многокомпонентного прогноза сигналов в АСУ с использованием моделей авторегрессии-скользящего среднего // Техника средств связи. 2020. № 4 (152). С. 38-42.

For citation: Telezhkin V.F., Ragozin A.N., Saidov B.B. Construction of forecast of signals in an automated control system using models of autoregression-sliding average. Means of communication equipment. 2020. No 4 (152). Pp. 38-42 (in Russian).

УДК 623.618

Модель устойчивости автоматизированной системы управления

Билятдинов К.З., Красов А.В., Меняйло В.В.

Аннотация: Представлена универсальная модель устойчивости автоматизированной системы управления для решения задач моделирования состояний устойчивости систем различного назначения, в зависимости от последствий деструктивных воздействий, качества программных систем и других элементов в составе автоматизированной системы управления. Модель представляет собой математическое описание состояний устойчивости объекта на основе критериев устойчивости и возможностей к восстановлению. Основное назначение разработанной модели: анализ и оценка устойчивости систем в неблагоприятных условиях функционирования, прогнозирование состояния в зависимости от последствий воздействия различных неблагоприятных факторов и существенное сокращение времени принятия обоснованных управленческих решений в сфере обеспечения устойчивости объектов автоматизированных систем управления. Модель позволяет учитывать изменение исходных показателей функционирования систем, в зависимости от результатов воздействия неблагоприятных условий. Для этого модель включает в себя совокупность взаимосвязанных таблиц, содержащих описание требований, критериев и динамику изменений следующих основных показателей: время устойчивого функционирования, ресурсы, количество подсистем (элементов), количество персонала, трудозатраты, неисправности, возможности системы к восстановлению и результаты восстановления. В разработанной модели описание состояния устойчивости объекта в любой момент времени происходит с помощью систематизированных значений выбранных показателей качества функционирования автоматизированной системы управления с последующей оценкой значений этих показателей, в соответствии с заданными критериями. В модели основная величина, характеризующая влияние качества систем на устойчивость автоматизированной системы управления – это количество времени, в течение которого автоматизированная система управления способна устойчиво функционировать в неблагоприятных условиях без поступления внешних ресурсов и при одинаковом количестве ресурсов, имевшихся в исходном состоянии.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления; программные системы; устойчивость.

Введение

В настоящее время, необходимым условием безопасного и эффективного функционирования автоматизированных систем управления (АСУ) различного назначения является их устойчивость. В классическом понимании, устойчивость – это свойство системы восстанавливать состояние равновесия, из которого она была выведена под влиянием возмущающих факторов после прекращения их воздействия [1]. Однако, анализ современных зарубежных научных исследований в сфере обеспечения безопасности, эффективности и устойчивости АСУ [2 – 6, 7 – 13] показывает ярко выраженную тенденцию расширения взглядов на устойчивое функционирование АСУ в неблагоприятных условиях.

В первую очередь, это выражается в запросах на моделирование состояний устойчивости систем, в зависимости от последствий деструктивных воздействий и с учетом качества программных систем и других обеспечивающих элементов в составе АСУ. В особенности, это проявляется при решении различных слабоструктурированных проблем АСУ военного и двойного назначения:

- в сфере идентификации отказов в автоматизированных системах;
- при использовании в управлении информационных систем на основе математических моделей [14];
- при применении систем искусственного интеллекта, больших данных и совершенствования АСУ с учетом современных направлений развития киберфизических систем [10, 12, 13, 15];

- при оценке устойчивого развития и безопасности, включая оценку киберугроз для эксплуатируемых и разрабатываемых АСУ;
- при использовании автономных объектов [8];
- при ведении гибридных войн в информационном пространстве [16].

Поэтому, сегодня под устойчивостью АСУ целесообразно понимать не только ее способность как можно более длительное время функционировать в неблагоприятных условиях при заданных ресурсах, но и противостоять деструктивным воздействиям, восстанавливая свои программные системы и вспомогательные элементы. Устойчивость АСУ будет зависеть от качества программных систем и вспомогательных элементов в ее составе.

Вышеизложенное обосновывает следующую постановку задачи: разработать простую, наглядную, общедоступную и универсальную модель устойчивости АСУ для решения задач моделирования состояний устойчивости АСУ различного назначения в зависимости от последствий деструктивных воздействий на АСУ, качества программных систем и других элементов в составе АСУ.

1 Назначение, ограничения и допущения модели устойчивости АСУ

Результаты современных научных исследований [1, 3, 7, 9, 10, 11, 15] дают возможность разработки модели устойчивости АСУ (далее – модели), путем применения системного подхода к оценке влияния неблагоприятных условий на устойчивость АСУ, учету потерь, расходу ресурсов и времени на восстановление элементов АСУ. Таким образом, предлагаемая модель представляет собой математическое описание состояний устойчивости объекта на основе критериев устойчивости и возможностей АСУ к восстановлению [1, 3].

Назначение модели:

- 1) Анализ и оценка устойчивости систем в неблагоприятных условиях функционирования.
- 2) Прогнозирование состояния АСУ в зависимости от последствий воздействия различных неблагоприятных факторов.
- 3) Сокращение времени и ресурсов на принятие обоснованных управленческих решений по созданию резервов систем, запасов ресурсов, подготовке специалистов, а также формированию базовых требований к значениям показателей качества программных систем и обеспечивающих подсистем (элементов) в сфере обеспечения устойчивости АСУ в процессе эксплуатации. При этом, в соответствии с ГОСТ Р 51904-2002 «Программное обеспечение встроенных систем. Общие требования к разработке и документированию», программная система – это система, состоящая из программного обеспечения и компьютерного оборудования для его выполнения.

Ограничения при применении модели:

- 1) Модель применима совместно со структурно-функциональной моделью АСУ при условии, что оцениваемый объект АСУ, при требуемой детализации можно представить в виде множества программных систем (далее – систем) и других элементов, выполняющих соответствующие функции для достижения цели создания и функционирования оцениваемой АСУ.
- 2) Модель применима, если обозначенное (п.1 данных ограничений) множество элементов, выполняющих соответствующие функции объекта, можно корректно разделить на три группы элементов:
 - элементы, находящиеся в постоянной эксплуатации (готовности);
 - элементы, находящиеся в резерве и готовые к вводу в эксплуатацию;
 - неисправные элементы, подлежащие восстановлению.
- 3) Для корректной оценки устойчивости АСУ при сравнении с устойчивостью других аналогичных АСУ, а также с базовыми значениями устойчивости (при их наличии) при применении модели рекомендуется не учитывать пополнение персонала и запасов ресурсов.

4). В модели исследуются лишь последствия деструктивных воздействий на объект, и при этом не рассматриваются сами конкретные деструктивные воздействия (аварии, природные и техногенные катастрофы, действия злоумышленников и т. д.).

Допущения:

1) В начальный момент времени (t_0) АСУ устойчива, известны ее исходные значения показателей и установлены критерии устойчивости.

2) В модели программные системы представлены как элементы АСУ, которые могут выходить из строя, получать повреждения и быть неисправными, вследствие деструктивных воздействий.

3) В зависимости от степени детализации, структурно-функционального представления оцениваемого объекта АСУ принимаются максимальные значения времени, трудозатрат и расхода ресурсов на восстановление одного элемента, выполняющего функцию (функции) объекта АСУ, то есть рассматривается пессимистический сценарий развития событий, вследствие деструктивных воздействий на объект в неблагоприятных условиях. Данное допущение позволяет учитывать слабо прогнозируемые события при эксплуатации АСУ в неблагоприятных условиях.

2 Сущность и краткое содержание модели

Модель позволяет учитывать изменение исходных показателей функционирования систем, в зависимости от результатов воздействия неблагоприятных условий. Для этого модель включает в себя совокупность взаимосвязанных таблиц, содержащих описание требований, критериев и динамику изменений следующих основных показателей: время устойчивого функционирования, ресурсы, количество подсистем (элементов), количество персонала, трудозатраты, неисправности, возможности системы к восстановлению и результаты восстановления.

В разработанной модели описание состояния устойчивости объекта в любой момент времени t_i происходит с помощью систематизированных значений выбранных показателей качества функционирования АСУ с последующей оценкой значений этих показателей, в соответствии с заданными критериями. В качестве двух основных критериев устойчивости предлагаются:

1) Количество комплектов систем в составе АСУ, находящихся в непрерывной эксплуатации (готовности) – N_{\min} .

Если $N > N_{\min}$, то объект устойчив, если $N < N_{\min}$, то объект не устойчив, если $N = N_{\min}$, то объект находится на границе своей устойчивости.

2) Минимально требуемый результат функционирования АСУ – Y_{\min} . Если $Y \geq Y_{\min}$, то объект устойчив, если $Y < Y_{\min}$, то объект не устойчив.

Другие принимаемые критерии должны отражать специфику эксплуатации АСУ и требования по достижению цели функционирования. Расчет значений показателей качества в момент времени t_i производится по формуле (1):

$$K_i = K_{i-1} - K_{ni} + K_{vi}, \quad (1)$$

где K_i – значение показателя качества в момент времени t_i ;

K_{i-1} – предыдущее значение показателя качества системы перед наступлением момента времени t_i , то есть в момент времени t_{i-1} ;

K_{vi} – количественное значение, выражающее увеличение запасов ресурсов и количества восстановленных элементов АСУ, то есть увеличение значения показателя качества к моменту времени t_i ;

K_{ni} – количественное значение, выражающее потери ресурсов и потери (неисправности) элементов системы, то есть уменьшение значения показателя качества к моменту времени t_i или за период времени:

$$\Delta t_i = t_i - t_{i-1}.$$

В модели основная величина, характеризующая влияние качества систем на устойчивость АСУ – это количество времени (Δt_u), в течение которого АСУ способна устойчиво функционировать в неблагоприятных условиях без поступления внешних ресурсов и при одинаковом количестве ресурсов, имевшихся у АСУ в исходном состоянии, то есть до начала воздействия неблагоприятных условий:

$$\Delta t_u = t_i - t_0,$$

где t_0 – время начала воздействия неблагоприятных условий на АСУ.

Таким образом, Δt_u можно обоснованно считать основным показателем качества при оценке (сравнении) различных систем в сфере устойчивости аналогичных АСУ, функционирующих в одинаковых неблагоприятных условиях, или, например, при оценке качества АСУ до и после модернизации.

На основании вышеизложенного целесообразно разработать критерий оценки устойчивости АСУ, состоящий в том, что в любой момент времени t_i в оцениваемый период времени Δt_u :

$$K_i \geq K_{i\min}, \quad (2)$$

где $K_{i\min}$ – минимально допустимое значение показателя качества АСУ в момент времени t_i .

Объект устойчив, если в любой момент оцениваемого периода времени значение выбранного показателя качества больше или равно своему минимально допустимому значению.

Критерий оценки возможностей АСУ по обеспечению своей устойчивости, за счет восстановления неисправных (поврежденных) элементов:

$$K_{vi} \geq K_{ni}. \quad (3)$$

АСУ устойчива, если в любой момент оцениваемого периода времени значение (K_{vi}), выражающее наличие запасов ресурсов (X_1, X_2, \dots, X_r) и количества восстановленных элементов АСУ (n_v), больше или равно значению (K_{ni}), которое выражает потери ресурсов и потери (неисправности) элементов АСУ. То есть для обеспечения своей постоянной устойчивости система должна вовремя восстанавливать свои потери, в соответствии с установленными требованиями.

Поэтому на устойчивость влияет время восстановления систем – элементов АСУ, от которых зависит достижение цели функционирования.

Минимальное количество времени на восстановление n элементов в составе АСУ ($T_{n\min}$) будет всегда равно минимально возможному времени восстановления одного элемента ($T_{1\min}$):

$$T_{n\min} = T_{1\min}.$$

Данное равенство возможно при условии, что число ремонтно-восстановительных бригад (j) с количеством персонала, равным или большим максимально необходимому количеству специалистов для восстановления одной системы (элемента), ($L_{1\max}$) будет больше или равно количеству элементов (n), нуждающихся в восстановлении (проведении ремонтно-восстановительных работ).

Отсюда можно математически выразить условие восстановления объекта АСУ в кратчайшие сроки – $T_{n\min}$:

$$T_{n\min} = T_{1\min} \text{ при } j \geq n, \text{ где } j = L / L_{1\max}. \quad (4)$$

Значит, при соблюдении вышеназванного условия $j \geq n$ число j будет характеризовать количество элементов в составе объекта АСУ, которые возможно восстановить силами персонала объекта за минимально возможное время – $T_{n\min} = T_{1\min}$. То есть, по сути, это будет скорость восстановления объекта при условии наличия достаточного количества необходимых ресурсов (X_1, X_2, \dots, X_r), например, запасов ЗИП, ГСМ и других.

Соответственно, чем меньше минимально возможное по техническому регламенту время восстановления системы и ниже трудозатраты и расходы ресурсов на восстановление этой системы, тем меньшее количество времени и специалистов необходимо для ремонтно-

восстановительных работ. Значит, повышается устойчивость АСУ, за счет более быстрого восстановления неисправных (поврежденных) элементов.

При этом, важно заметить, что количество специалистов в одной ремонтно-восстановительной бригаде для восстановления одной системы, значения трудозатрат на восстановление и время восстановления одной системы, как правило, берутся из технической документации, в соответствии с технологиями и регламентами ремонтно-восстановительных работ или находятся опытным путем.

На практике привлечение большего количества специалистов не целесообразно, а уменьшение положенного по технологии ремонта времени восстановления ухудшает качество ремонтно-восстановительных работ и повышает риск повторной неисправности системы.

3 Моделирование состояний устойчивости АСУ

Таким образом, с учетом вышеизложенного, и используя установленные критерии и формулы (1-4), рационально рассчитывать затраты времени и ресурсов на восстановление n_v неисправных элементов АСУ. В зависимости от привлеченного количества специалистов, при требуемых трудозатратах на восстановление одного элемента (E_1) требуемые трудозатраты на восстановление n_v неисправных элементов (E_n) рассчитываются по формуле: $E_n = n_v E_1$. То есть модель при количестве систем (элементов) n позволяет рассматривать диапазон количественных значений от 1 до n , с шагом $\Delta n = 1$.

При этом моделирование состояний устойчивости АСУ доказывает, что время восстановления элементов в составе АСУ ($T_{1\min}$), трудозатраты (E_1) и расход ресурсов (X_1, X_2, \dots, X_r) и (или) бюджет (S) на проведение ремонтно-восстановительных работ будут являться основными показателями качества АСУ в сфере обеспечения ее устойчивости.

Соответственно, чем меньше минимально возможные по техническому регламенту время и расходы ресурсов на восстановление системы и ниже трудозатраты на восстановление этой системы, тем меньшее количество времени и специалистов необходимо для ремонтно-восстановительных работ. Значит, повышается устойчивость АСУ, за счет более быстрого восстановления неисправных (поврежденных) элементов.

На основе вышеизложенного в модели состояние устойчивости объекта в любой момент времени (t_i) описывается путем заполнения табл. «Изменение состояния объекта и оценка его устойчивости в результате воздействия неблагоприятных условий на объект в моменты времени t_i » (далее – табл.). Табл. заполняется на основании описания исходного состояния объекта (K_0) в момент времени (t_0), а также информации о результатах воздействия неблагоприятных условий на АСУ.

Момент времени $t_i = t_0 + \Delta t_i$, где Δt_i – время воздействия на объект неблагоприятных условий (деструктивных воздействий), в результате которых объект АСУ несет какие-либо потери: персонала (L), элементов (N), ресурсов (X_1, X_2, \dots, X_r) и (или) может не достичь минимально требуемого результата функционирования (Y_{\min}).

Динамика изменений состояний устойчивости описывается в модели путем построения табл. с помощью установленных критериев и формул (1-4). В табл. количественные значения показателей (K_i) в момент времени t_i рассчитываются по формуле (1). На основании полученных количественных значений показателей (K_i) в столбце табл. «Оценка устойчивости АСУ в момент времени t_i » оценивается устойчивость по предлагаемым критериям или по специально установленным критериям для оцениваемого объекта АСУ. Специально установленные критерии могут выражать особую специфику функционирования АСУ. В идеале при моделировании состояний устойчивости объекта в любой момент времени t_i АСУ должна быть устойчива в любых неблагоприятных условиях. Для этого должны выполняться критерии, выраженные формулами (2) и (3), и тогда будет соблюдено равенство: $\Delta t_i = \Delta t_u$.

Таблица – Изменение состояния АСУ и оценка ее устойчивости в результате воздействия неблагоприятных условий на объект в моменты времени t_i .

№ п/п	t_0	t_1		...		t_i	
	K_0	K_1	Оценка устойчивости АСУ в момент времени t_1	K_i	Оценка устойчивости АСУ в момент времени t_i
1	N_0	N_1	Если $N_1 > N_{\min}$, то АСУ устойчива, если $N_1 < N_{\min}$, то не устойчива, если $N_1 = N_{\min}$, то находится на границе своей устойчивости. Если $Y_1 \geq Y_{\min}$, то АСУ устойчива, если $Y_1 < Y_{\min}$, то не устойчива.	N_i	Если $N_i > N_{\min}$, то АСУ устойчива, если $N_i < N_{\min}$, то не устойчива, если $N_i = N_{\min}$, то находится на границе своей устойчивости. Если $Y_i \geq Y_{\min}$, то АСУ устойчива, если $Y_i < Y_{\min}$, то не устойчива.
2	L_0	L_1		L_i	
3	X_{01}	X_{11}		...	...	X_{1i}
...	
$m-2$	X_{0r}	X_{r1}		...	...	X_{ri}
$m-1$	S_0	S_1		...	...	S_i
m	Y_0	Y_1		...	...	Y_i

Заключение

В заключении необходимо отметить, что полученные в результате моделирования устойчивости объектов АСУ значения Δt_u рационально использовать при подготовке и обосновании управленческих решений, принимаемых в процессе эксплуатации АСУ, в части касающихся совершенствования эксплуатации и ТО систем, а также в вопросах подготовки персонала. Применение модели существенно сокращает расходы ресурсов и времени на принятие обоснованных и наиболее рациональных управленческих решений, что способствует повышению эффективности управления.

На практике разработанная модель применяется в программе для ЭВМ «Оценка устойчивости систем» (свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020615328 от 21.05.2020 г.). Применение данной программы позволяет моделировать изменения количественных значений основных показателей оценки качества АСУ в зависимости от результатов деструктивных воздействий, а также исследовать устойчивость систем в неблагоприятных условиях, которые объективно невозможно создать при реальной эксплуатации объектов АСУ в мирное время. Анализ результатов моделирования дает возможность обоснованно использовать положительный опыт в обеспечении устойчивости АСУ, которые функционировали большее количество времени в неблагоприятных условиях.

Литература

1. Дорф Р. Современные системы управления. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2012. 832 с.
2. Banker R., Kotarac K., Neralić L. Sensitivity and stability in stochastic data envelopment analysis. The Journal of the Operational Research Society. 2015. Vol. 66. No. 1. Pp. 134-147.
3. Chen J.-X. Overall performance evaluation: new bounded DEA models against unreachability of efficiency. The Journal of the Operational Research Society. 2014. Vol. 65. No. 7. Pp. 1120-1132.
4. Downes C. Strategic Blind-Spots on Cyber Threats, Vectors and Campaigns. The Cyber Defense Review. 2018. Vol. 3. No. 1. Pp. 79-104.

5. Han P., Wang L., Song P. Doubly robust and locally efficient estimation with missing outcomes. *Statistica Sinica*. 2016. Vol. 26. No. 2. Pp. 691-719.
6. Jabbour K., Poisson J. Cyber Risk Assessment in Distributed Information Systems. *The Cyber Defense Review*. 2016. Vol. 1. No. 1. Pp. 91-112.
7. Karagiannis G. On structural and average technical efficiency. *Journal of Productivity Analysis*. 2015. Vol. 43. No. 3. Pp. 259-267.
8. Leys N. Autonomous Weapon Systems and International Crises. *Strategic Studies Quarterly*. 2018. Vol. 12. No. 1. Pp. 48-73.
9. Luetje A., Wohlgemuth V. Tracking Sustainability Targets with Quantitative Indicator Systems for Performance Measurement of Industrial Symbiosis in Industrial Parks. *Administrative sciences*. 2020. Vol. 10. No. 1.
10. Price M., Walker S., Wiley W. The Machine Beneath: Implications of Artificial Intelligence in Strategic Decision making. *PRISM*. 2018. Vol. 7. No. 4. Pp. 92-105.
11. Putz M., Wiene, T., Pierer A. A multi-sensor approach for failure identification during production enabled by parallel datamonitoring. *CIRP annals-manufacturing technology*. 2018. Vol. 67. No. 1. Pp. 491-494.
12. Segal A. Bridging the Cyberspace Gap: Washington and Silicon Valley. *PRISM*. 2017. Vol. 7. No. 2. Pp. 66-77.
13. Trevino M. Cyber Physical Systems: The Coming Singularity. *PRISM*. 2019. Vol. 8. No. 3. Pp. 2-13.
14. Kalimoldayev M., Abdildayeva A., Mamyrbayev O. Information system based on the mathematical model of the EPS. *Open engineering*. 2016. Vol. 6. No. 1. Pp. 464-469.
15. Baker J., Henderson S. The Cyber Data Science Process. *The Cyber Defense Review*. 2017. Vol. 2. No. 2. Pp. 47-68.
16. Danyk Yu., Maliarchuk T., Briggs C. Hybrid War: High-tech, Information and Cyber Conflicts. *Connections*. 2017. Vol. 16. No. 2. Pp. 5-24.

References

1. Dorf R. *Sovremennye sistemy upravlenija [Modern systems of control]*. Moscow: Laboratorija Bazovyh Znanij [Laboratory of basic knowledge], 2012. 832 p. (in Russian).
2. Banker R., Kotarac K., Neralić L. Sensitivity and stability in stochastic data envelopment analysis. *The Journal of the Operational Research Society*. 2015. Vol. 66. No. 1. Pp. 134-147.
3. Chen J.-X. Overall performance evaluation: new bounded DEA models against unreachability of efficiency. *The Journal of the Operational Research Society*. 2014. Vol. 65. No. 7. Pp. 1120-1132.
4. Downes C. Strategic Blind-Spots on Cyber Threats, Vectors and Campaigns. *The Cyber Defense Review*. 2018. Vol. 3. No. 1. Pp. 79-104.
5. Han P., Wang L., Song P. Doubly robust and locally efficient estimation with missing outcomes. *Statistica Sinica*. 2016. Vol. 26. No. 2. Pp. 691-719.
6. Jabbour K., Poisson J. Cyber Risk Assessment in Distributed Information Systems. *The Cyber Defense Review*. 2016. Vol. 1. No. 1. Pp. 91-112.
7. Karagiannis G. On structural and average technical efficiency. *Journal of Productivity Analysis*. 2015. Vol. 43. No. 3. Pp. 259-267.
8. Leys N. Autonomous Weapon Systems and International Crises. *Strategic Studies Quarterly*. 2018. Vol. 12. No. 1. Pp. 48-73.
9. Luetje A., Wohlgemuth V. Tracking Sustainability Targets with Quantitative Indicator Systems for Performance Measurement of Industrial Symbiosis in Industrial Parks. *Administrative sciences*. 2020. Vol. 10. No. 1.
10. Price M., Walker S., Wiley W. The Machine Beneath: Implications of Artificial Intelligence in Strategic Decision making. *PRISM*. 2018. Vol. 7. No. 4. Pp. 92-105.
11. Putz M., Wiene, T., Pierer A. A multi-sensor approach for failure identification during production enabled by parallel datamonitoring. *CIRP annals-manufacturing technology*. 2018. Vol. 67. No. 1. Pp. 491-494.
12. Segal A. Bridging the Cyberspace Gap: Washington and Silicon Valley. *PRISM*. 2017. Vol. 7. No. 2. Pp. 66-77.

13. Trevino M. Cyber Physical Systems: The Coming Singularity. PRISM. 2019. Vol. 8. No. 3. Pp. 2-13.
14. Kalimoldayev M., Abdildayeva A., Mamyrbayev O. Information system based on the mathematical model of the EPS. Open engineering. 2016. Vol. 6. No. 1. Pp. 464-469.
15. Baker J., Henderson S. The Cyber Data Science Process. The Cyber Defense Review. 2017. Vol. 2. No. 2. Pp. 47-68.
16. Danyk Yu., Maliarchuk T., Briggs C. Hybrid War: High-tech, Information and Cyber Conflicts. Connections. 2017. Vol. 16. No. 2. Pp. 5-24.

Статья поступила 09 ноября 2020 г.

Информация об авторах

Биятдинов Камиль Закирович – Кандидат военных наук, доцент, докторант Акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт экономики, информатики и систем управления», г. Москва. E-mail: k74b@mail.ru.

Красов Андрей Владимирович – Кандидат технических наук, доцент. Заведующий кафедрой защищенных систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М.А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург. E-mail: krasov@inbox.ru.

Меняйло Вера Владимировна – Кандидат филологических наук, доцент Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Санкт-Петербург. E-mail: menyaylo917@mail.ru.

Model of stability of automated control system

K.Z. Biliatdinov, A.V. Krasov, V.V. Meniailo

Annotation: *The article presents a universal model of stability of automated control systems (ACS) for the solution of problems of modelling of stability states of ACS of different types depending on a kind of destructive influences, quality of program systems and other ACS elements. The model is a mathematical description of states of stability of an object based on criteria of stability and possibilities of ACS to renew. The main purpose of the model is to analyze and assess stability of systems under negative conditions of operation, to forecast ACS state under the influence of unfavorable factors and to decrease time of making justified managerial decisions. The model allows taking account of changes of initial indicators of systems functioning depending on the results of negative influences. For this purpose, the model contains a number of connected tables with description of requirements, criteria and dynamics of changes of the following indicators: time of a system's stable functioning, resources, number of subsystems (elements), amount of personnel, manhours, defects, possibilities of a system to renew, and results of a renewal. The model describes a state of an object's stability at any moment of time with a help of systematized values of chosen indicators of quality of ACS functioning. Then, these indicators are assessed by the required criteria.*

Keywords: *automated control systems; program systems; stability.*

Information about authors

Biliatdinov K.Z. – PhD, Docent, Doctoral Student of Central Research Institute of Economics, Informatics and Systems of Control. E-mail: k74b@mail.ru.

Krasov A.V. – PhD, Docent. Head of the Department of Secured Communications Systems of The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications. E-mail: krasov@inbox.ru.

Meniailo V.V. – PhD, Associate Professor at the Department of Foreign Languages of National Research University Higher School of Economics. E-mail: menyaylo917@mail.ru.

Для цитирования: Биятдинов К.З., Красов А.В., Меняйло В.В. Модель устойчивости автоматизированной системы управления // Техника средств связи. 2020. № 4 (152). С. 43-50.

For citation: Biliatdinov K.Z., Krasov A.V., Meniailo V.V. Model of stability of automated control system. Means of communication equipment. 2020. No 4 (152). Pp. 43-50 (in Russian).

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

УДК 654.02:519.876.5

Имитационная модель и результаты моделирования протокола маршрутизации O2M для низкоскоростных мобильных радиосетей

Дорогов А.Ю., Подранюк Е.П.

Аннотация. На основе имитационной модели в работе проведено исследование протокола маршрутизации O2M, предназначенного для использования в беспроводных сетях с динамически изменяемой топологией. Описаны принципы построения имитационной модели в программной среде МАТЛАБ. Представлены результаты моделирования работы протокола маршрутизации при различных режимах работы. Получены оценки протокола маршрутизации по объему служебного трафика, длительности переходного процесса, размеру очередей на выходах маршрутизаторов. Приведены результаты моделирования функциональной устойчивости протокола при воздействии помех.

Ключевые слова: маршрутизация; протокол O2M; имитационная модель; беспроводные сети.

Введение

Среди беспроводных мобильных телекоммуникационных сетей существует перспективный подкласс *ad hoc* сетей (*MANET – Mobile Ad hoc NETWORKS*). Такие сети относятся к самоорганизующимся сетям с динамически изменяющейся топологией. Классическими областями применения подобных радиосетей являются: боевые действия, чрезвычайные ситуации, сенсорная телеметрия, мобильные конференции и др. Среди особенностей *MANET* сетей выделяют изменяемую топологию; ненадежность и динамичность радиоресурса, коллективный характер его использования; ограниченность и неоднородность ресурсов узлов (энергоемкость батарей, производительность процессоров, объем памяти и т. д.) и др. [1–7].

Каждый узел в *ad hoc* сети работает одновременно как терминальный узел и как маршрутизатор. Поэтому, ключевой задачей в *MANET* сетях является задача маршрутизации. Основными требованиями к протоколам маршрутизации мобильных сетей являются: децентрализованное функционирование; минимальная загрузка сети служебной информацией; отсутствие заклинивания маршрутов; быстрая сходимость алгоритма при построении маршрута заданного качества; поддержка однонаправленных каналов и др. [8].

Протокол динамической маршрутизации O2M [9] разработан для передачи информации о доступности узлов *ad hoc* сети пакетной передачи данных на низкоскоростных каналах связи в радиосетях с высокой вероятностью ошибок. Радиосеть часто используется при аварийных ситуациях как резервный вариант высокоскоростных *IP*-сетей. Протокол O2M позволяет обнаруживать топологию сети – определять *IP*-адреса включенных в сеть граничных интерфейсов и их соединений. С помощью данного протокола узлы радиосети обмениваются метрическими стоимостями передачи пакета между портами узлов, там самым формируют и корректируют матрицу смежности, по которой уже строится таблица маршрутизации для каждого узла.

Размер обслуживаемых сетей протокола O2M не превышает 127 узлов, при этом на каждом узле может быть не более 31 порта. Протокол O2M позволяет работать в режиме «вскрытия» топологии радиосети, а также поддерживает балансировку нагрузки, перераспределяя трафик с нагруженных направлений на менее нагруженные. В основе работы протокола лежит принцип широковещательной рассылки пакетов. Узел, получивший

пакет O2M, соблюдая ряд условий, распространяет его по остальным своим интерфейсам. Размер пакета не более 17 байт, поля защищены кодом Хэмминга и закрыты контрольной суммой.

Для обмена информацией о содержимом таблиц адресов и смежности, протокол O2M использует два вида служебных пакетов – *RtAddr* и *RtLink*. В протоколе O2M отсутствуют сеансовые обмены между узлами (когда узел вынужден ожидать ответа встречной стороны), вследствие этого обработчик протокола O2M не имеет таймированных состояний, что позволяет работать протоколу более эффективно на низкоскоростных каналах.

В данной работе представлена имитационная модель протокола маршрутизации O2M и результаты проведенного моделирования. Моделирование проводилось для сети, состоящей из 32 узлов. Топология модельной сети и распределение степеней связанности вершин сети показаны на рис. 1.

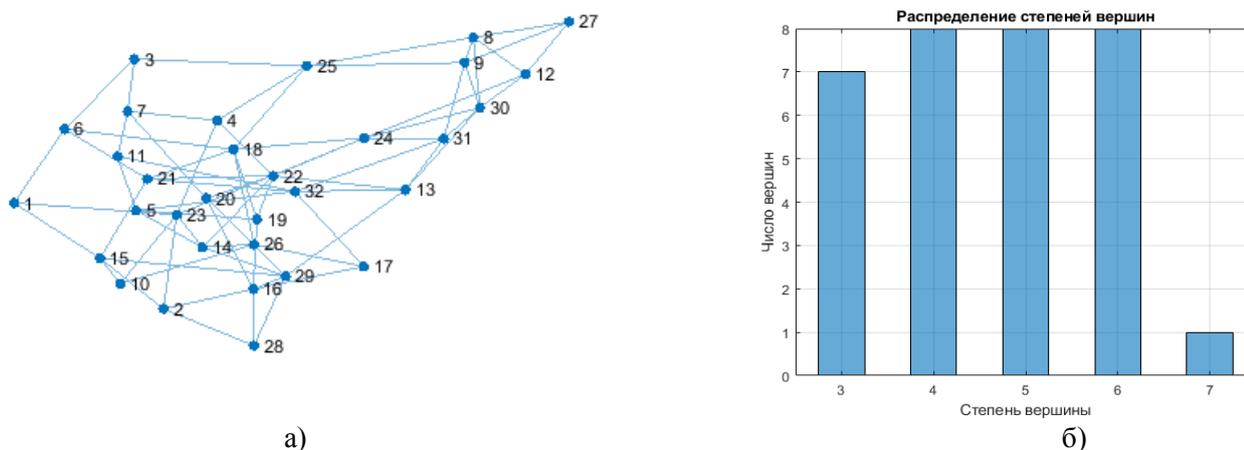


Рис. 1. Топология тестовой сети и распределение степеней связанности вершин
а) – топология тестовой сети; б) – распределение степеней связанности вершин тестовой сети

Реализация имитационной модели выполнена в среде программирования МАТЛАБ. Для программной имитации протоколов использован принцип «календаря событий» [8]. Календарь представляет собой общий список событий, порождаемых на всех узлах сети, причём все события помечены временными метками. С каждым событием, как правило, связано начало или завершение передачи служебного сообщения (пакета) на узле сети. Помимо временной метки, событие может содержать информационное сообщение и другие служебные данные. Временная метка события определяется моментом порождения сообщения на узле, скоростью распространения сообщения через сегмент сети, а также моментом завершения передачи последнего сообщения выходной очереди маршрутизатора на том же сегменте. Общая очередь сообщений в календаре событий обрабатывается по принципу временной локализации ближайшего события в списке.

Разработанная модель позволяет оценить время сходимости алгоритма маршрутизации, наполненность служебных таблиц протокола и таблиц маршрутизации, а также размеры очередей в буферах маршрутизаторов. Входными данными для модели являются топология сети, список узлов, скорость передачи данных и метрические стоимости передачи пакета в каналах связи. Создание и обработка событий календаря подчинена алгоритму маршрутизации O2M. В процессе моделирования на всех узлах формируются идентичные базы адресов и смежности. При моделировании предполагалось, что все каналы связи в сети имеют одинаковые метрические стоимости передачи пакета, равные 1. Значение метрической стоимости передачи пакета обратно пропорционально качеству передачи по данному каналу связи – с ухудшением качества передачи данных по каналу связи увеличивается значение соответствующей метрической стоимости. Минимальное значение метрической стоимости равно 1.

Для оценки динамических свойств было проведено моделирование протокола маршрутизации в пусковых режимах и при изменении структуры сети. При моделировании структурных изменений были рассмотрены случаи добавления в сеть, как нового узла, так и нового канала связи. Оценка результатов моделирования проводилась на основании полученного времени сходимости алгоритма, количества обработанных служебных пакетов и размера очередей на портах узлов.

При моделировании помехоустойчивости протокола маршрутизации O2M, исходными данными являлась вероятность возникновения битовой ошибки в сообщении. В качестве оцениваемых параметров модели были выбраны следующие: суммарное количество потерянных пакетов, время сходимости алгоритма маршрутизации, процент наполненности служебных таблиц протокола и процент возникновения дефектов в таблице маршрутизации узлов сети.

Результаты моделирования работы протокола маршрутизации в пусковом режиме

При моделировании пускового режима протокола маршрутизации O2M (для топологии сети, представленной на рис. 1а) предполагалось, что все узлы включаются одновременно, а переходный процесс завершается при исчерпании списка календаря событий. В результате моделирования было получено, что полный служебный трафик пускового режима составил 48851 сообщений (пакетов) при среднем размере пакета 15 байт. Среди общего количества сообщений, отправленных и обработанных во время маршрутизации, преобладают пакеты обновления адресных таблиц *RtAddr* (57.47 % от общего количества). Графики, отражающие динамику трафика служебных пакетов при скорости 1200 бит/с, представлены на рис. 2.

В момент пиковой нагрузки сети, размер максимального потока составил 129104 бита. Время сходимости алгоритма маршрутизации составило 45.09 с при скорости передачи данных 1200 бит/с. С увеличением скорости передачи время маршрутизации уменьшается: так, например, при скорости 4800 бит/с время составляет 11.39 с, при 12000 бит/с – 4,65 с, а при 19200 бит/с – 2.82 с. Средняя нагрузка на сеть на интервале сходимости составляет 0.719 от пропускной способности сети. Пиковая нагрузка на сеть в момент максимума трафика составила 8.53 от пропускной способности сети. Пропускная способность сети определяется числом используемых портов и скоростью передачи сообщений через порты. Вследствие того, что в сети количество одновременно пересылаемых пакетов не превышает общее число используемых портов, на выходах маршрутизаторов образуются очереди пакетов, ожидающих передачи.

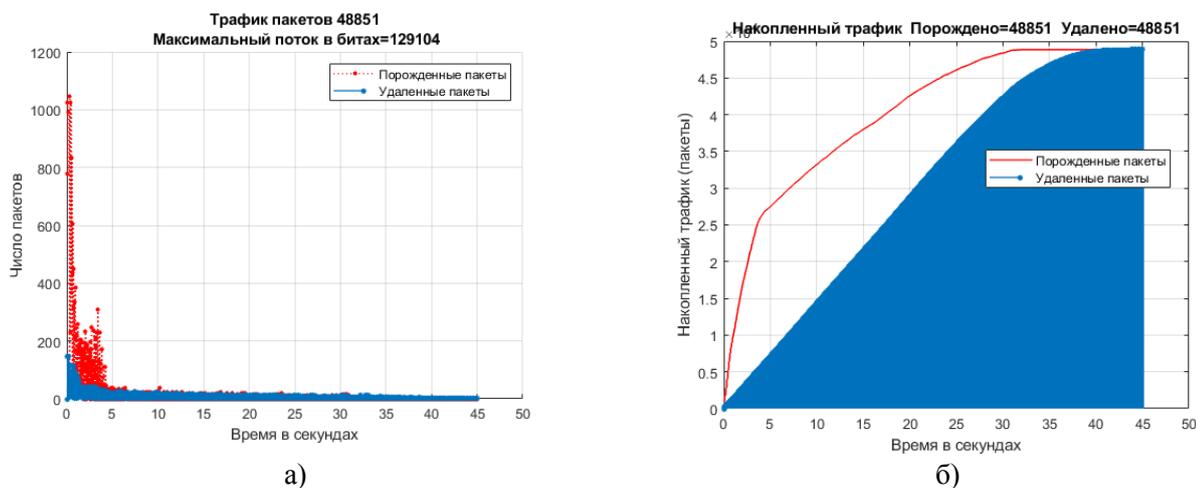


Рис. 2. Динамика трафика служебных пакетов пускового режима при скорости 1200 бит/с: а) – интенсивность трафика; б) – накопленный трафик

Размеры очередей и пиковая нагрузка существенно зависят от числа узлов в сети. На рис. 3 представлена динамика очередей в сети в пусковом режиме для трёх узлов с минимальной нагрузкой и трёх узлов с максимальной нагрузкой при скорости в канале 1200 бит/с.

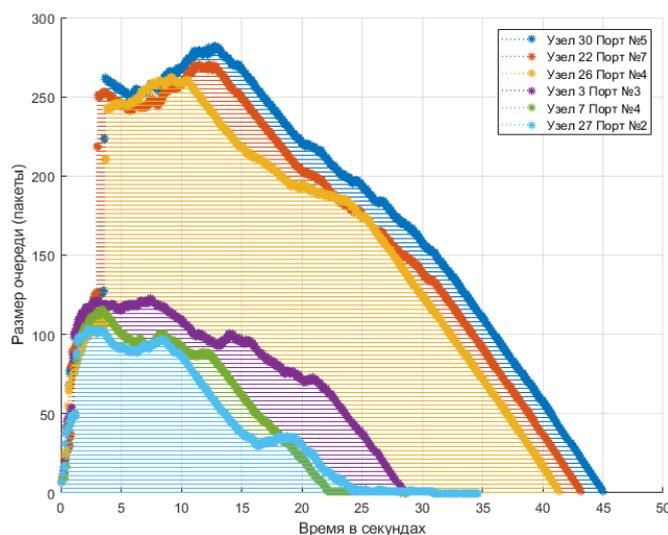


Рис. 3. Динамика очередей на узлах сети в пусковом режиме

Максимальная длина очереди (282 пакета) в сети наблюдается на порту 5 узла 30 в момент времени 12.78 с. Как видно из графиков, на большинстве портов очереди резко растут на интервале 0–5 с, на интервале 5–15 с наблюдается стабилизация роста, после чего идет общий спад. Резкий рост на стартовом интервале является следствием большого количества порождаемых пакетов (см. рис. 2а).

Уменьшению длины очередей может способствовать включение узлов в сеть последовательно с некоторой задержкой относительно друг друга, однако в этом случае большое значение может иметь как порядок включения узлов, так и степень связанности стартовой вершины. При этом, также будет наблюдаться потеря пакетов, так как протокол маршрутизации O2M не предполагает сеансовые обмены информацией.

Результаты моделирования работы протокола маршрутизации при изменении структуры сети

Во время работы *MANET* сети, её структура может быть изменена: например, могут быть удалены существующие или добавлены новые узлы или каналы связи. Согласно протоколу O2M [9], информация об удалении, как узла, так и канала связи, поступает «извне», т. е. от транспортного протокола или от оператора. Изменение структуры запускает переходный процесс, связанный с распространением по сети информации о структурном изменении.

Моделирование структурных изменений выполнялось для сети, показанной на рис. 1а. Для оценки результатов моделирования были использованы следующие параметры: время переходного процесса в сети при изменении структуры, количество обработанных служебных пакетов, размеры очередей на портах узлов. Рассматривался вариант добавления в сеть узла и каналов связи. Моделирование структурных изменений проводилось после завершения пускового процесса в сети.

Анализируя граф сети можно определить распределение вершин по их степеням. Так как добавление канала связи с узлом увеличит значение степени связанности соответствующей вершины, справедливо предположение, что приоритет в выборе таких вершин отдается, в первую очередь, имеющим минимальную степень и, в последнюю очередь, максимальную степень. Согласно рис. 1б, степени связанности вершин в выбранной

сети варьируются в диапазоне от 3 до 7. Следовательно, приоритетом для создания канала связи обладают вершины со степенью 3. Тем не менее, была также проведена проверка подсоединения к узлам, вершины которых имеют большую степень связанности.

Для добавления в сеть нового узла проводился выбор 3 смежных узлов из множества имеющихся в сети. При этом, на основе выполненного анализа сети были отобраны комбинации соединения с использованием узлов, удовлетворяющих описанным выше требованиям по степеням вершин. При добавлении нового канала связи в сеть, аналогично был проведён анализ степеней вершин в сети, и определены комбинации возможных новых соединений. Приоритет так же был отдан вершинам с меньшей степенью связанности.

Моделирование процесса добавления в сеть нового узла было выполнено для трёх вариантов степеней вершин окружения – 3-4-5, 5-5-5, 5-6-7, с которыми новый узел устанавливает каналы связи. Вершины окружения становятся смежными для нового узла, подключаемого к сети. Результаты моделирования добавления нового узла в сеть представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты моделирования добавления узла в сеть

Оцениваемый параметр	Комбинация степеней вершин	3-4-5	5-5-5	5-6-7
Объем трафика (пакетов шт.)		3925	3929	3930
Время сходимости (с)		59.88	59.97	60.14
Максимальный размер очереди пакетов		608	609	612

Общая динамика изменения очередей сети при добавлении нового узла в сеть для варианта степеней вершин 5-6-7 представлена на рис. 4. На графике отображена динамика для портов добавляемого узла (Узел 33) и смежных к нему (Узел 13, Узел 16, Узел 22). Максимальное значение размера очереди (>600 пакетов) наблюдается на подключаемом узле. Максимальные значения очередей на смежных узлах, при этом, варьируются в диапазоне от 28 до 52 пакетов. Очереди на остальных узлах сети незначительны и не превышают значение 5-7 пакетов.

Динамика изменения очередей на смежных узлах, вне зависимости от степеней их вершин, имеет подобный характер. В процессе добавления нового узла в сеть наблюдается два пиковых участка. В первые 15 секунд переходного процесса появляется первый пик с максимальными значениями очередей на узлах. В следующие 10-15 секунд переходного процесса наблюдается второй пик с меньшими значениями размера очередей.

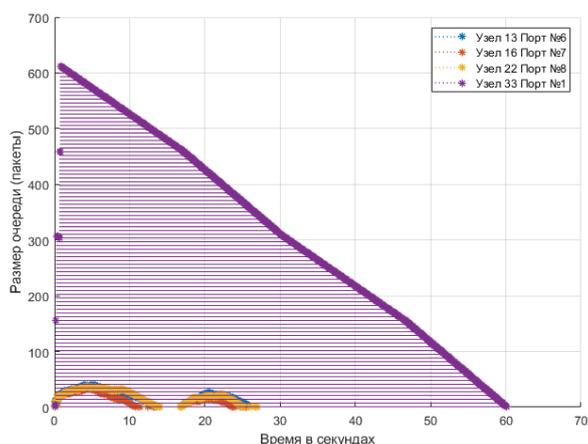


Рис. 4. Динамика изменения очередей при добавлении нового узла в сеть

Для моделирования добавления нового канала связи в существующую сеть было выделено 3 варианта степеней вершин: 3-4, 3-7 и 6-7. Результаты моделирования добавления в сеть нового канала связи представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты моделирования добавления канала связи в сеть

Оцениваемый параметр	Комбинация степеней вершин	3-4	3-7	6-7
Объем трафика (пакетов шт.)		1080	1080	1080
Время сходимости, с		29.49	29.49	29.49
Максимальный размер очереди, пакетов		300	300	300

Из табл. 2 следует, что при добавлении нового канала связи степень вершины узла не влияет на оцениваемые параметры. Общая динамика очередей в сети представлена на рис. 5. На графике отображена динамика для узлов 10 и 22, соединенных новым каналом связи. Динамика максимальных размеров очередей маршрутизаторов при добавлении нового канала связи между узлами 10 и 22 представлена на рис. 6. Максимальные размеры очередей (300 пакетов) возникают на узлах, образующих новый канал, что обусловлено процессом обмена базами адресов и смежности между этими узлами. В первые 1-2 секунды переходного процесса образуются небольшие очереди и на других узлах сети. Это обусловлено широковещательной рассылкой о включении новых портов на соответствующих узлах и дальнейшим распространением этих сообщений в сети. Как видно из графика, размеры очередей на узлах сети, не задействованных в процессе добавления нового канала связи, незначительны.

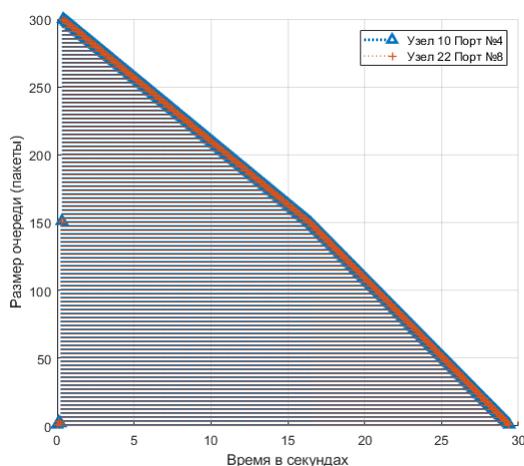


Рис. 5. Динамика изменения очередей при добавлении нового канала связи в сеть

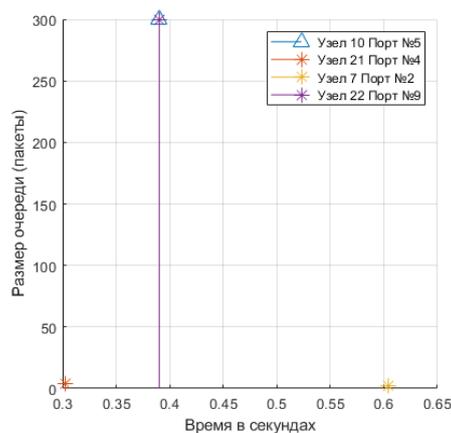


Рис. 6. Наблюдаемая динамика достижения максимальных размеров очередей маршрутизаторов при добавлении нового канала связи в сеть

Результаты моделирования помехоустойчивости протокола маршрутизации

Поля сообщений, используемых в протоколе O2M, защищены от помех кодом Хэмминга и контрольной суммой. На основе заданной вероятности битовой ошибки по структуре служебных пакетов *RtAddr* и *RtLink* протокола были определены вероятности их потери (табл. 3).

Для исследования была выбрана сеть, топология которой представлена на рис. 1а. Эксперименты проводились для пускового режима сети. Для оценки проведенного моделирования были выбраны следующие параметры: суммарное количество потерянных пакетов, процент наполненности баз адресов и смежности узлов сети, процент

возникновения дефектов маршрутизации в сети, время сходимости алгоритма маршрутизации. Потерянным считается пакет, который был отправлен, но не был доставлен. В качестве проверки сети на наличие дефектов маршрутизации на каждом узле проводилось восстановление графа сети по данным, хранящимся в базах адресов и смежности узлов сети. Если граф сети хотя бы на одном узле восстанавливался с ошибкой, то считалось, что наблюдается дефект маршрутизации.

Полученные в ходе моделирования результаты представлены в табл. 3. Стоит отметить, что при вероятности возникновения битовой ошибки, равной 10^{-3} , не было обнаружено дефектов маршрутизации и незаполненных баз адресов, что свидетельствует о высокой помехоустойчивости протокола. Несмотря на наличие на узлах не полностью заполненных баз смежности, при данном значении вероятности битовой ошибки дефекты маршрутизации отсутствуют. При увеличении вероятности возникновения битовой ошибки до значения 10^{-2} дефекты маршрутизации не обнаружены, несмотря на незаполненные базы адресов и смежности. Отсутствие дефектов маршрутизации при достаточно высоком уровне помех объясняется многократным дублированием поступающей информации на каждом узле сети, возникающим за счёт широковещательной рассылки служебных пакетов.

При значении вероятности возникновения битовой ошибки равном $1.5 \cdot 10^{-2}$, наблюдается ухудшение оцениваемых параметров. Наполненность баз смежности снижается более чем на 20%, возникают дефекты маршрутизации более чем в 51% случаев. Следует отметить, что время сходимости алгоритма уменьшается с увеличением вероятности возникновения битовой ошибки в сети во всех рассмотренных случаях, что обусловлено потерей части служебных пакетов и как следствие – снижение суммарного времени обработки.

Таблица 3 – Результаты моделирования устойчивости протокола маршрутизации

Оцениваемый параметр	Вероятность возникновения битовой ошибки	$1.5 \cdot 10^{-2}$	10^{-2}	$3 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
Вероятность потери пакета <i>RtAddr</i>		0.462	0.323	0.101	0.034
Вероятность потери пакета <i>RtLink</i>		0.433	0.302	0.095	0.032
Время сходимости, с		16.32	27.51	38.02	41.95
Суммарное кол-во потерянных пакетов, шт		2042	1818	1093	438
Полные базы адресов, %		83.8	93.9	100	100
Полные базы смежности, %		58.8	80.4	97.9	99.3
Дефекты маршрутизации, %		51	0	0	0

Выводы

На основе разработанной имитационной модели был исследован протокол маршрутизации O2M в различных режимах работы. Для моделирования был выбран пусковой режим (одновременного включения всех узлов в сети), поскольку данный режим является одним из наиболее тяжелых для работы сети.

После завершения переходного процесса все узлы сети содержали полные базы смежности и адресов, что позволяет сделать заключение об отсутствии логических ошибок в протоколе маршрутизации. Основной этап генерации пакетов происходит в начале процесса соединения узлов (в первые 20 % – 28 % переходного процесса), что обусловлено интенсивным заполнением баз смежности и адресов в пусковом режиме работы протокола. В этом же временном интервале наблюдаются максимальные очереди пакетов на узлах сети. В дальнейшем, накопленные пакеты обрабатываются, и с наполнением баз прекращается генерация новых сообщений.

В работе были исследованы динамические свойства протокола при изменении структуры сети. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что время сходимости переходных процессов практически не зависит от степеней вершин выбранных узлов. Во время добавления в сеть новых элементов, очереди возникают, в основном, на портах непосредственно подсоединяемых узлов, что обусловлено процессом обмена базами адресов и смежности. Максимальные размеры очередей во всех случаях наблюдаются на подсоединяемом узле, при этом на смежных узлах размеры очередей имеют два пиковых интервала. Обработка очередей на смежных узлах занимает примерно 50 % – 60 % общего времени сходимости процесса добавления в сеть нового узла.

В работе было проведено исследование помехоустойчивости протокола маршрутизации. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что для сети, представленной на рис. 1, алгоритм обладает высоким уровнем помехоустойчивости, при значениях вероятности возникновения битовой ошибки, не превышающих 10^{-2} . При увеличении данной вероятности наблюдаются дефекты маршрутизации, что означает наличие ошибок при построении таблиц маршрутизации, необходимых для корректной работы сети. Разработанная имитационная модель протокола маршрутизации O2M является составной частью моделирующего комплекса пакетных радиосетей КВ-диапазона [10].

Литература

1. Миночкин А. И., Романюк В. А. Маршрутизация в мобильных радиосетях – проблема и пути ее решения // Зв'язок, 2006. № 3. 15 с. URL: http://www.viti.edu.ua/files/rom/2006/1_2006.pdf (дата обращения 15.12.2020)
2. Григорьев В. А., Лагутенко О. И., Распаев Ю. А. Сети и системы радиодоступа. М.: Эко-Трендз, 2005. 384 с.
3. Нетес В. А. Качество обслуживания в сетях связи. Обзор рекомендаций МСЭ-Т // Сети и системы связи. 1999. №3. С. 66–71.
4. Corson S., Macker J. Mobile Ad Hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations. IETF RFC2501. 1999. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2501> (дата обращения 15.12.2020).
5. Iwata A., Chiang Ch., Pei G., Gerla M., Chen T. Scalable Routing Strategies for Ad Hoc Wireless Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 1970. No. 179(8).
6. Murthy S., Garcia-Luna-Aceves J. J. An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks. Mobile Networks and Applications. 1970. No. 1 (2).
7. Путилин А.Н., Хвостунов Ю.С. Использование частотного ресурса системой декаметрового диапазона в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты // Техника средств связи. 2020. № 3 (151). С. 24-35.
8. Дорогов А.Ю., Потапов И.А., Тутене А.С. Моделирование протоколов беспроводных сетей в среде MatLab // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 2. С. 32–50.
9. Егоров А.А. Протоколы O2П и O2M для переноса IP-трафика в низкоскоростных сетях с высоким коэффициентом ошибок // Техника средств связи. 2020. № 3 (151). С. 6–15.
10. Дорогов А.Ю., Яшин А.И. Программный комплекс моделирования пакетных радиосетей КВ-диапазона // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 6. С. 26–37.

References

1. Minochkin A.I., Romaniuk V.A. Routing in mobile radio networks – the problem and ways to solve it. *Zviyazok* [Connectivity]. 2006. No. 3. 15 p. URL: http://www.viti.edu.ua/files/rom/2006/1_2006.pdf (date of access 15.12.2020) (in Russian).
2. Grigor'ev V.A., Lagutenko O.I., Raspaev Yu.A. *Seti i sistemy radiodostupa* [Radio access networks and systems]. Moscow: Jeko-Trendz, 2005. 384 p. (in Russian).
3. Netes V.A. *Kachestvo obsluzhivaniya v setyakh svyazi. Obzor rekomendatsij MSJe-T* [Quality of service in communication networks. Review of ITU-T recommendations]. *Seti i sistemy svyazi* [Networks and communication systems]. 1999. No. 3. Pp. 66-71 (in Russian).

4. Corson S., Macker J. *Mobile Ad Hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations*. IETF RFC2501. 1999. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2501> (date of access 15.12.2020).
5. Iwata A., Chiang Ch., Pei G., Gerla M., Chen T. Scalable Routing Strategies for Ad Hoc Wireless Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 1970. No. 179 (8).
6. Murthy S., Garcia-Luna-Aceves J. J. An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks. *Mobile Networks and Applications*. 1970. No. 1 (2).
7. Putilin A.N., Khvostunov Yu.S. Use of frequency resource by decimeter communication system in pseudorandom operation frequency tuning mode. *Means of communication equipment*. 2020. No 3 (151). Pp. 24-35 (in Russian).
8. Dorogov A.Yu., Potapov I.A., Tutene A.C. Modeling of wireless network protocols in the environment of MatLab. *H&ES Research*. 2019. Vol. 11. No. 3. Pp. 32-45 (in Russian).
9. Egorov A.A. O2P and O2M protocols for transferring IP traffic in low-speed networks with a high bit error rate. *Means of communication equipment*. 2020. No. 3 (151). Pp. 6-15 (in Russian).
10. Dorogov A.Yu, Yashin A.I. Software package for modeling HF-band packet radio networks. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 6. Pp. 26–37 (in Russian).

Статья поступила 18 ноября 2020 г.

Информация об авторах

Дорогов Александр Юрьевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ПАО «Интелтех». E-mail: vaksa2006@yandex.ru.

Подранюк Екатерина Павловна – инженер-программист ПАО «Интелтех». E-mail: PodranyukEP@inteltech.ru.

Тел. +7 (812) 541-85-77. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д.8.

Simulation model and simulation results of the O2M routing protocol for low-speed mobile radio networks

A.Yu. Dorogov, E.P. Podranyuk

Annotation. In the article simulation model of the O2M routing protocol for use in wireless networks with a dynamically changing topology is researched. The simulation model design approach using the MatLab software environment is described. Routing protocol modeling results for various types of working modes are presented. Assessment of O2M routing protocol by the service traffic size, the duration of transition process, the routers output queues size is provided. Modeling results of routing protocol functional stability under interference are given.

Key words: routing, Protocol O2M, simulation model, wireless networks.

Information about Authors

Aleksander Yurievich Dorogov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief research officer of PJSC «Inteltech». E-mail: vaksa2006@yandex.ru.

Ekaterina Pavlovna Podranyuk – Software engineer of PJSC «Inteltech». E-mail: PodranyukEP@inteltech.ru.

Tel. +7 (812) 541-85-77. Address: 197342, Russia, St. Petersburg, ul. Kantemirovskaya, 8.

Для цитирования: Дорогов А.Ю., Подранюк Е.П. Имитационная модель и результаты моделирования протокола маршрутизации O2M для низкоскоростных мобильных радиосетей // Техника средств связи. 2020. №4 (152). С. 51-59.

For citation: Dorogov A.Yu., Podranyuk E.P. Simulation model and simulation results of the O2M routing protocol for low-speed mobile radio networks. *Means of communication equipment*. 2020. No 4 (152). Pp. 51-59 (in Russian).

УДК 621.396.4, 519.876.5

Повышение помехоустойчивости OFDM модема в канале с замираниями

Машкин А.И., Машкин И.В., Шапгала В.С.

Аннотация: В статье ставятся задачи программной реализации кодов Рида-Соломона на языке программирования American national standards institute C/C++ и разработки системы поиска оптимального положения слота. Целью работы является получение графиков Bit Error Rate для OFDM модема с блоком помехоустойчивого кодирования Рида-Соломона, для каналов с аддитивным белым гауссовским шумом и трех каналов из рекомендации F.1487: Good, Moderate и Poor channel. При моделировании используются методы кроссплатформенного программирования и цифровой обработки сигналов. Новизна обсуждаемого решения состоит в программной реализации кодов Рида-Соломона, способных работать в полях Галуа GF(8) – GF(1024). К результатам работы следует отнести графики помехоустойчивости разрабатываемого модема, а также программное обеспечение кодера и декодера Рида-Соломона. Практическая значимость работы заключается в возможности кроссплатформенного использования программного обеспечения кодов Рида-Соломона произвольной длины в полях Галуа GF(8) – GF(1024).

Ключевые слова: коды Рида-Соломона; помехоустойчивость; цифровая обработка сигналов.

Введение

При передаче данных в радиоканале коротковолнового (КВ) диапазона из-за наличия шумов и помех существует вероятность искажения передаваемых символов. Для обнаружения и/или исправления некоторых из возникающих ошибок используется помехоустойчивое (канальное) кодирование.

В канале с замираниями пакетные ошибки могут образовываться столь часто, что исправить их с помощью кодов, исправляющих одиночные ошибки, не представляется возможным. В качестве решения данной проблемы могут быть использованы коды Рида-Соломона (РС), обладающие оптимальным соотношением между скоростью кодирования и исправляющей способностью среди всех не двоичных кодов, той же длины и скорости, вследствие чего получившие широкое применение в современных информационных системах [1].

В статье рассматривается программная реализация кодов РС на языке American national standards institute (ANSI) C/C++, система поиска оптимального положения слота, а также анализ графиков помехоустойчивости OFDM модема с блоком кода РС.

Общие сведения о кодах Рида-Соломона

Коды Рида-Соломона – помехоустойчивые коды, относящиеся к классу блочных циклических кодов. Для описания кодов РС будем использовать устоявшуюся терминологию, а именно: n – длина кодированного блока, k – длина информационного сообщения, d – минимальное кодовое расстояние.

Коды РС являются оптимальными по критерию расстояния среди всех 2^m ($m > 1$) кодов той же длины и скорости, т. к. лежат на границе Синглтона [1]:

$$d = n - k + 1, \quad (1)$$

Известно, что код может исправлять до t ошибок, если выполняется неравенство:

$$d \geq 2t + 1. \quad (2)$$

Согласно (2), при заданном кодовом расстоянии d , код может исправить до t ошибок. Исправляющая способность кода вычисляется по формуле:

$$t = \left\lfloor \frac{d-1}{2} \right\rfloor. \quad (3)$$

Квадратными скобками здесь обозначено выделение целой части числа.

Подстановка (1) в (3) позволяет получить формулу, связывающую и исправляющую способность кода и параметры кода РС:

$$t = \left\lfloor \frac{n - k}{2} \right\rfloor . \quad (4)$$

Таким образом, исправляющая способность зависит от числа введенных избыточных символов $r = n - k$. Чем больше это расстояние, тем больше ошибок может исправить код.

Длина кодированного блока зависит от используемого поля Галуа, следующим образом: $n = 2^m - 1$, где, m – это степень расширения поля Галуа $GF(2^m)$.

Кодер Рида-Соломона

Кодирование Рида-Соломона может быть реализовано в несистематической и систематической форме. В отличие от несистематического кодирования, систематическое обеспечивает наличие информационных символов в кодовом слове. С целью разработки кодов произвольной длины было принято решение осуществлять систематическое кодирование. В этом случае, кодовое слово $v(x)$ может быть получено следующим образом:

$$v(x) = x^{n-k}u(x) + x^{n-k}u(x) \bmod(g(x)) , \quad (5)$$

где, $u(x)$ – информационный вектор, $g(x)$ – порождающий многочлен:

$$g(x) = \prod_{j=b}^{b+2t-1} (x + \varepsilon^j),$$

где, b – целое (обычно 0 или 1), ε – примитивный элемент поля Галуа.

Алгоритм систематического кодирования описывается следующими шагами:

1). Осуществляется сдвиг информационного полинома $u(x)$ в крайние старшие k разрядов кодового слова путем умножения полинома $u(x)$ на x^{n-k} .

2). Полученный полином $x^{n-k}u(x)$ делится на порождающий многочлен $g(x)$ для получения остатка от деления. В результате получаем $r(x) = x^{n-k}u(x) \bmod(g(x))$.

3). Согласно формуле (5) получаем кодовое слово $v(x)$ [2].

Декодер Рида-Соломона

Для описания алгоритма декодирования обозначим сообщение на входе декодера следующим образом:

$$r(x) = v(x) + e(x),$$

где, $e(x)$ – полином ошибки.

Алгебраический метод декодирования кодов Рида-Соломона описывается следующими шагами:

1) Первый этап декодирования заключается в вычислении значения принятого полинома $r(x)$ в нулях кода (вычисление синдромов $S(x)$):

$$S_j = r(\varepsilon^j),$$

где, $j = b..b + 2t - 1$, $b = 0$ или $b = 1$, ε^j – корни порождающего многочлена $g(x)$.

2) Решение ключевого уравнения:

$$S(x)\sigma(x) \equiv \omega(x) \pmod{x^d} .$$

В случае если $\deg(\sigma(x)) > t$, где \deg – старшая степень полинома, происходит отказ от декодирования и переход к пункту 5.

$\sigma(x)$ – полином локаторов ошибок (его корни являются обратными величинами локаторов искаженных позиций); его степень равна исправляющей способности кода t . Поиск многочлена локаторов ошибок производится с помощью алгоритма Берлекэмп-Мэсси.

$\omega(x)$ – многочлен значений ошибок $\deg(\omega(x)) < \deg(\sigma(x))$.

3) Отказа от декодирования возвращается информационная часть систематического декодированного. Определение множества локаторов ошибок проводится по процедуре Ченя. Если число локаторов ошибок не совпадает со степенью $\sigma(x)$, то отказ и переход к пункту 5.

4) Вычисление значений ошибок и исправление искаженных позиций по алгоритму Форни.

5) Восстановление искаженных информационных символов или выдача отказа декодирования, в случае отсутствия кодового слова, а также количества исправленных ошибок [2].

Программная реализация модема

Разработанное программное обеспечение (ПО) включает набор функций для кодирования/декодирования, а также тестирующий блок, позволяющий моделировать различные (n, k) коды Рида-Соломона с последующим прохождением через канал с шумом и декодированием.

API (application programming interface) проекта включает в себя следующие блоки:

- инициализация параметров кода: `int RS_init(int mode, int n, int k, RS* st);`
- кодирование: `void Encoder(int* message, int* code, RS* st);`
- декодирование: `unsigned int Decoder(int* code, int* message, RS* st);`

Функция инициализации параметров кода устанавливает заданные $n, k, mode$ параметры и на их основе формирует порождающий многочлен (mode – характеристика поля Галуа). Кодер и декодер осуществляют систематическое кодирование и декодирование с возвращением числа исправленных ошибок. Количество строк кода на C/C++ – 516.

Система поиска оптимального положения слота

С целью уменьшения вероятности битовой ошибки в канале с замираниями на основе кодов РС разработана система поиска оптимального положения слота (СПОПС) с учетом длительности защитного интервала. Идея алгоритма отображена на рис. 1.

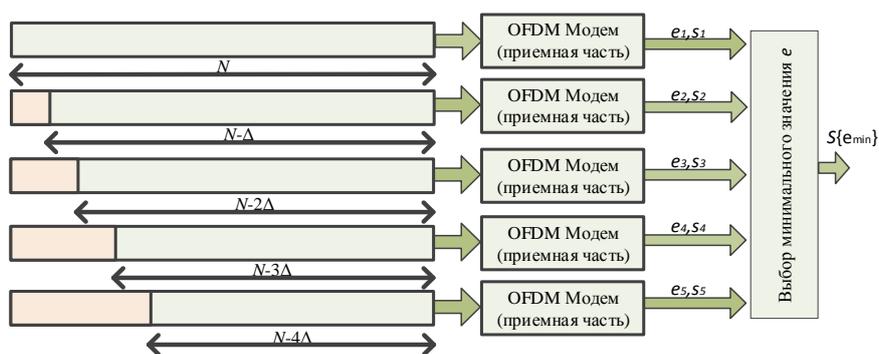


Рис. 1. Алгоритм системы поиска оптимального положения слота

Осуществляется прием сигнального слота длительностью $N = 640$ отсчетов. Принятый слот разбивается на 4 части, каждый из которых получен путем сдвига относительного предыдущего на $\Delta = 8$ отсчетов. Каждый слот демодулируется и декодируется с запоминанием декодированного кодового слова S_i и количества исправленных кодом ошибок $e_i, i = 1, 2, \dots, 5$. Выбор наилучшего слова осуществляется по критерию минимума ошибки декодирования $S\{e_{min}\}$.

Результаты моделирования

Завершающим этапом исследования стало проведение моделирования работы модема с блоком помехоустойчивого кодирования и СПОПС в среде технических расчетов *MATLAB*.

Параметры модема:

используемая технология – *OFDM*, ОФМ (относительная фазовая манипуляция) – 2, 4, 8;

количество информационных поднесущих – 44;

интервал ортогональности – 10 мс; защитный интервал – 2,5 мс;

длительность слота T – 50 мс;

количество посылок в слоте – 4;

количество точек преобразования Фурье – 128, помехоустойчивый код для соответствующих позиционностей модуляции – код Рида-Соломона (26,16), (44,24), (33,23).

Исследуемые каналы: аддитивный белый Гауссовский шум (АБГШ) (*AWGN*), *Good*, *Moderate* и *Poor channel*.

Количество передаваемых информационных бит во всех экспериментах – не менее 10^6 .

Диапазон отношения сигнал/шум для экспериментов: от 0 до 20 дБ с шагом 1 дБ.

Полученные графики *Bit Error Rate (BER)* представлены на рис. 2.

Для канала с АБГШ сравнивалась работа модема с использованием и без использования помехоустойчивого кодирования. Для каналов из рекомендации *F.1487* [3] анализировалась работа с включенной СПОПС и без нее.

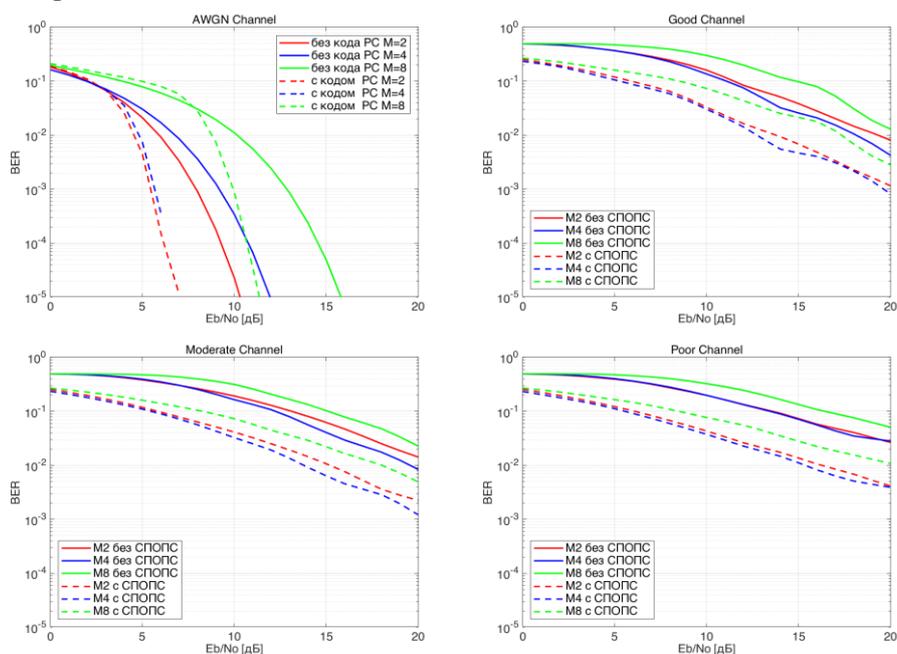


Рис. 2. Коэффициент битовых ошибок в зависимости E_b/N_0

Выводы

В результате разработано ПО на языке *ANSI C/C++* для кодов РС, позволяющее работать в полях Галуа $GF(8) - GF(1024)$.

В канале с АБГШ начиная с 3 дБ для позиционностей 2, 4 и с 8 дБ для позиционности 8, кодируемая передача обеспечивает лучшее качество связи в сравнении с неcodируемой.

СПОПС является первым шагом к построению системы синхронизации модема. Полученные результаты *BER* с ее использованием, показывают теоретически достижимый уровень помехоустойчивости при оптимальной системе синхронизации с заданным защитным интервалом. Разработанная система уже при низких отношениях сигнал/шум (от 0 дБ и выше) обеспечивает почти в два раза меньший уровень вероятности битовой ошибки.

Разработанное ПО кодера и декодера РС было использовано [4].

Литература

1. Ипатов В.П., Самойлов И.М., Гайворонский Д.В. Основы теории кодирования и шифрования: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. 128 с.
2. Золотарёв В.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: Справочник / В.В. Золотарёв, Г.В. Овечкин; Под ред. чл.-корр. РАН Ю.Б. Зубарева. М.
3. F.1487 : Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators URL: <https://www.itu.int/rec/R-REC-F.1487/en> (дата обращения 3 Sep. 2020).
4. Шаптала В.С., Солнцев Д.В. Модель фрагмента сети цифровой радиосвязи // Техника средств связи. 2020. № 2 (150). С. 71-79.

References

1. Ipatov V.P., Samoilov I.M., Gaivoronsky D.V. Foundations of the theory of coding and encryption: textbook allowance. Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI", 2015. 128 c. (in Russian).
2. Zolotarev V.V., Ovechkin G.V. Anti-interference coding. Methods and algorithms. Handbook. Ed. Corresponding Member RAS Yu.B. Zubarev. - M. (in Russian).
3. F.520: Use of high frequency ionospheric channel simulators URL: <https://www.itu.int/rec/R-REC-F.520/en> (accessed 3 Sep. 2020).
4. Shaptala V.S., Solntsev D.V. Model of pilot area of digital radio network. Means of communication equipment. 2020. No 2 (150). Pp. 71-79 (in Russian).

Статья поступила 30 ноября 2020 г.

Информация об авторах

Машкин Андрей Игоревич – Магистр СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Инженер ПАО «Интелтех». E-mail: mashkinAI@inteltech.ru.

Машкин Игорь Вячеславович – Кандидат военных наук, доцент. Начальник отдела ПАО «Интелтех». E-mail: i.mashkin@ntc1.inteltech.ru.

Шаптала Василий Сергеевич – Кандидат технических наук. Начальник лаборатории ПАО «Интелтех». E-mail: shaptalavs@inteltech.ru.

Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д. 8. Тел. 8 (812) 448-19-01.

Improving the noise immunity of ofdm modem in a fading channel

A.I. Mashkin, I.V. Mashkin, V.S. Shaptala

Annotation. The article sets the problem of software implementation of Reed-Solomon codes in the ANSI C / C + programming language and the development of a system for finding the optimal slot position. The aim of the work is to obtain BER graphs for an OFDM modem with a PC noise-immune coding unit, for channels with AWGN and three channels from the F.1487 recommendation: Good, Moderate and Poor channel. The modeling uses the methods of cross-platform programming and digital signal processing. The novelty of the discussed solution lies in the software implementation of RS codes capable of operating in Galois fields $GF(8) - GF(1024)$. The results of the work should include the graphs of the noise immunity of the modem being developed, as well as the software of the PC codes. The practical significance of the work lies in the possibility of cross-platform use of software of RS codes of arbitrary length in the fields $GF(8) - GF(1024)$.

Keywords: Reed-Solomon codes; noise immunity; digital signal processing.

Information about Authors

Mashkin Andrey Igorevich – Master of Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI". Software engineer of PJSC "Inteltech". E-mail: mashkinAI@inteltech.ru.

Mashkin Igor Vyacheslavovich – Ph.D in Military Sciences, Associate Professor. Head of Department of "Inteltech" PJSC. E-mail: i.mashkin@ntc1.inteltech.ru.

Shaptala Vasilij Sergeevich – Ph.D. Head of laboratory PJSC "Inteltech". E-mail: shaptalavs@inteltech.ru.

Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street 8. Tel. 8 (812) 448-19-01.

Для цитирования: Машкин А.И., Машкин И.В., Шаптала В.С. Повышение помехоустойчивости OFDM модема в канале с замираниями // Техника средств связи. 2020. № 4 (152). С. 60-64.

For citation: Mashkin A.I., Mashkin I.V., Shaptala V.S. Improving the noise immunity of OFDM modem in a fading channel. Means of communication equipment. 2020. No 4 (152). Pp. 60-64 (in Russian).

УДК 004.75, 621.391

Построение территориально-распределённого испытательного комплекса для дистанционного проведения трассовых испытаний

Дяченко А.Н.

Аннотация: *Постановка задачи:* Анализ проблем, возникающих при оценке существующих и разработке новых каналов радиосвязи декаметрового диапазона волн, обзор имеющихся реализаций технологий программно-определяемого радио и формулировка требований к построению и составу территориально-распределённого испытательного комплекса. **Цель работы:** Формирование предложений по построению испытательного комплекса и оценка способов передачи информации между элементами комплекса. **Практическая значимость:** Представлен вариант построения узла испытательного комплекса, приведены расчёты объёмов информации мониторинга сигналов и способы её кодирования при передаче.

Ключевые слова: распределённый испытательный комплекс; программно-определяемое радио; SDR; декаметровая радиосвязь; открытые технологии.

Введение

Разработка и внедрение новых технологий открывает возможности по использованию инновационных подходов к проектированию и реализации решений в различных областях науки и техники. При этом, как правило, требуется сокращение сроков получения результатов деятельности. Несмотря на бурное развитие спутниковых систем, сотовых сетей и волоконно-оптических линий связи, важным остаётся наличие резервных каналов. В некоторых случаях использование подобных резервных каналов может оказываться экономически наиболее приемлемым вариантом в качестве основных, к данному виду можно отнести каналы радиосвязи декаметрового диапазона волн (ДКМВ). Вместе с тем нестационарность ДКМВ канала связи при ионосферном распространении радиоволн [1] не позволяет в полной мере отработать алгоритмы функционирования новых радиолиний путём имитационного моделирования без проведения трассовых испытаний макетного образца для различных географических координат приёма/передачи с учётом времени суток и сезонов года. В целях снижения сроков и стоимости таких испытаний, а также повышения их качества необходимо внедрение новых подходов.

Открытые технологии

Развитие цифровой техники привело к доступности и широкому распространению технологий *software definition radio (SDR)*. Что позволило создать сеть доступных "online" SDR-радиоприёмных устройств. Одной из известных реализаций этого направления является решение на базе программного обеспечения *WebSDR* [2], где список доступных для прослушивания радиоприёмных устройств (РПУ) насчитывает порядка 190 позиций, их географическое расположение представлено на рис. 1.



Рис. 1. Территориальное расположение доступных для прослушивания приёмников из списка сайта *websdr.org*

Типовой интерфейс для использования «удалённого» РПУ представлен на рис. 2 и включает в себя: отображение спектрограммы принимаемой полосы частот, кнопки настройки частот, кнопки управления демодулятором сигнала в задаваемой полосе приёма. Кроме того предусмотрен «звуковой» вывод демодулированного сигнала и его запись в файл с последующей загрузкой через браузер.

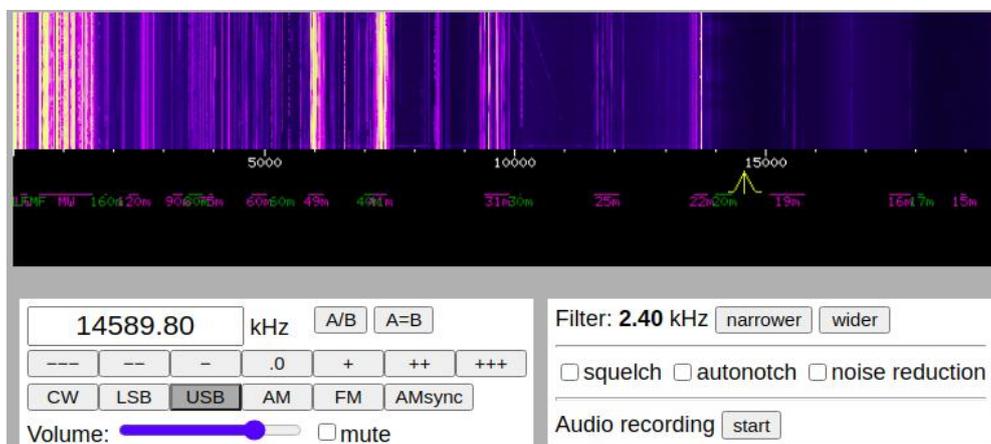


Рис. 2. Пользовательский интерфейс программы *WebSDR*

Пример другого интерфейса, реализуемого программным обеспечением *OpenWebRx* [3, 4], сходного по возможностям с *WebSDR* представлен на рис. 3.



Рис. 3. Пользовательский интерфейс программы *OpenWebRx*

Одним из часто используемых в сети *SDR*-приёмников, является открытый проект *KiwiSDR* [5]. Приёмник построен по принципу *Direct Down Conversion* (*DDC* цифровое преобразование «вниз») и основан на 14-битном аналого-цифровом преобразователе (АЦП) *LTC2248* (*Analog Devices*) со скоростью выборки 65 млн. отсчётов в секунду и программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) *XC7A35* (*Xilinx*). Связка АЦП и ПЛИС обеспечивает приём 4-х каналов для отображения спектрограмм и 4-х каналов для вывода звукового сигнала с фиксированной полосой 8,25 кГц [6]. Для формирования спектрограммы используется 2048 точечное дискретное преобразование Фурье. Доступно двенадцать уровней приближения с отображением полосы частот от ~30 МГц, с разрешением ~30 кГц/пиксель, до полосы частот ~15 кГц с разрешением ~15 Гц/пиксель.

Для решения задач быстрого прототипирования популярен открытый проект *HackRf* [7], являющийся полудуплексным трансивером с возможностью передачи 8-битного

квадратурного сигнала с частотой дискретизации до 20 млн. отсчётов/сек. Для формирования тракта в проекте используется ряд интегральных схем, таких как *MAX5864* (*Maxim*, кодек сигнала с частотой до 22 млн. отсчётов/сек), *MAX2837* (*Maxim*, широкополосный трансивер полосы 2,3-2,7 ГГц), *RFFC5072* (*RFMD*, широкополосный синтезатор с встроенным смесителем до 6 ГГц), что обеспечивает приём/передачу сигнала в диапазоне частот от 1 МГц до 6 ГГц. Для обработки/формирования сигнала используется программное обеспечение с открытым исходным кодом *GNU Radio* [8], предоставляющее разработчикам программно-определяемых радиосистем «строительные блоки», обеспечивающие основные функции цифровой обработки сигналов.

Рассмотренные решения, однако, не обеспечивают выполнения всех требований при разработке систем связи и их элементов, но могут быть применены при построении комплексов сопровождения разработки технических средств обмена данными в декаметровом диапазоне волн.

Испытательный комплекс

Для решения вопросов, связанных с качественным улучшением характеристик радиолиний и упрощения проведения работ по разработке, отладке и испытаниям, целесообразно формирование сети, состоящей из центрального узла (на котором располагается коллектив разработчиков) и ряда периферийных узлов, реализующих функции приёма или передачи сигналов [9], в совокупности представляющими территориально-распределённый испытательный комплекс (ИТРК) систем декаметровой связи. Территориальное размещение узлов обуславливается радиотрассами, которые предполагается использовать при проведении испытаний. Дополнительно к стационарным, могут быть реализованы и мобильные периферийные узлы, расширяющие возможности по формированию радиотрасс с различными характеристиками.

Испытательный комплекс должен удовлетворять следующим основным требованиям:

1) приёмники и возбудительные устройства должны быть построены на *SDR*-технологии и обеспечивать возможность оперативного (в том числе дистанционного) внесения изменений в сигнально-кодовые конструкции разрабатываемых и испытываемых образцов средств передачи (приёма) информации;

2) информация о принимаемых на периферийных узлах сигналах должна быть доступна для предварительного анализа на центральном узле в реальном масштабе времени;

3) периферийные узлы должны обладать высокой степенью автономности, в пределах не требовать при функционировании в штатном режиме присутствия обслуживающего персонала.

Центральный узел ИТРК должен комплектоваться аппаратным и программным обеспечением в целях выполнения следующих задач:

- ведения разработки программного обеспечения испытываемого оборудования;
- дистанционного управления оборудованием периферийных узлов;
- отображения и хранение результатов испытаний;
- математического анализа полученных результатов;
- организации доступа к глобальным сетям связи;
- предоставления персоналу средств телекоммуникаций для ведения аудио- и видео-переговоров.

Периферийные узлы ИТРК должны комплектоваться аппаратным и программным обеспечением в целях выполнения следующих задач:

- дистанционного управления изделиями, входящими в состав узла;
- контроль технического состояния изделий;
- предоставления вычислительных ресурсов для обработки принимаемых/передаваемых сигналов;
- ведение мониторинга эфира (для приёмных периферийных узлов);

- дистанционного внесения изменений в программное обеспечение испытываемого оборудования (при необходимости);
- организации доступа к глобальным сетям связи;
- предоставления персоналу средств телекоммуникаций для ведения аудио- и видео-переговоров.

Таким образом, узлы ИТРК должны комплектоваться рядом унифицированных изделий, основными из которых являются:

1) инструментальная электронно-вычислительная машина (ЭВМ) – высокопроизводительная вычислительная система, предназначенная для выполнения операций цифровой обработки сигналов и имеющая в наличии порты для подключения программаторов, обеспечивающих обновление конфигурации программируемых логических интегральных схем (ЛИС) и программ микроконтроллеров, входящих в состав испытываемых образцов. В случае проведения испытаний сигнально-кодовых конструкций, должна обеспечивать выполнение алгоритмов цифровой обработки над принятыми/передаваемыми сигналами. Должна обеспечивать обработку сигналов, принимаемых контрольным приёмником, и их запись в сетевое хранилище данных, а также их подготовку к отправке на центральный узел;

2) ЭВМ мониторинга – низкопроизводительная вычислительная система, предназначенная для выполнения программного контроля технического состояния узла, обеспечения дистанционного управления подачей электропитания на компоненты узлы;

3) сетевое хранилище данных – специализированное устройство для управления накопителями данных и обеспечения возможности записи/считывания информации по локальной вычислительной сети (ЛВС), предназначено для локального хранения больших объёмов оцифрованного сигнала, принимаемого контрольным приёмником, либо получаемого с испытываемых образцов;

4) консоль управления – устройство, устанавливаемое в стандартную 19" стойку и включающее в себя выдвижной ЖК-монитор, клавиатуру, Touchpad и переключатель клавиатуры и монитора не менее чем четырёх вычислительных машин. Предназначена для местного управления компонентами узла, их настройки и периодического обслуживания;

5) коммутатор ЛВС – должен обеспечивать взаимодействие между компонентами узла на скорости обмена не менее 1 Гб/с, что обусловлено необходимостью передачи оцифрованных потоков между инструментальной ЭВМ, контрольным приёмником и сетевым хранилищем данных;

6) блок мониторинга – специализированное устройство, предоставляющее возможности управления по ЛВС дискретными входами/выходами. Предназначено для подключения различных датчиков контроля температуры, доступа и управления электропитанием;

7) блок бесперебойного питания – предназначен для обеспечения корректного завершения работы компонентов узла в случае исчезновения первичного электропитания;

8) контрольный цифровой приёмник – должен обеспечивать управление и получение оцифрованного сигнала по ЛВС. Предназначен для мониторинга и оценки прохождения сигналов. В отсутствие испытываемого образца выступает в роли основного приёмника;

9) цифровое возбудительное устройство – должно обеспечивать дистанционное управление и передачу потока оцифрованного сигнала принятого по ЛВС. В отсутствие испытываемого образца выступает в роли основного источника сигналов;

10) усилитель мощности – передатчик ДКМВ диапазона с мощностью излучения, определяемой требованиями испытаний, должен обеспечивать управление по ЛВС;

11) приёмные или передающие антенны;

12) маршрутизатор для доступа к медным и волоконно-оптическим линиям связи – предназначен для подключения к глобальным сетям связи и обеспечения взаимодействия с центральным узлом ИТРК (приём команд управления, передачи данных о состоянии технических средств, приём/передача сигналов и данных мониторинга);

13) маршрутизатор для доступа к мобильным сетям связи 3G/4G – предназначен для подключения к глобальным сетям связи посредством беспроводных каналов и обеспечения взаимодействия с центральным узлом ИТРК (приём команд управления, передачи данных о состоянии технических средств, приём/передача сигналов и данных мониторинга). Рассматривается в качестве резервного канала связи;

14) станция спутниковой связи типа «Гонец» – предназначена для обеспечения аварийного канала связи. Рассматривается в качестве средства приёма команд управления и передачи данных о состоянии технических средств при отсутствии других способов связи;

15) IP-камера – предназначена для ведения визуального контроля состояния оборудования и организации видеосвязи между персоналом ИТРК;

16) IP-телефон предназначен для организации телефонной связи между персоналом ИТРК.

С учётом изложенного выше, на рис. 4 представлен вариант компоновки периферийного узла ИТРК с указанием функционального назначения некоторых элементов.

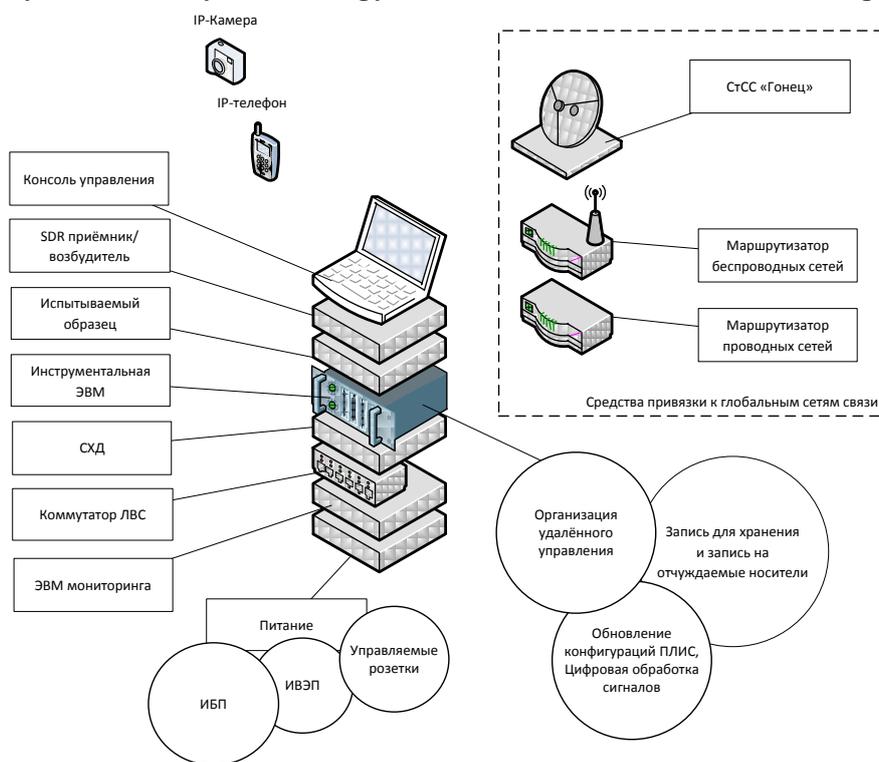


Рис. 4. Структура периферийного узла ИТРК (вариант)

Объёмы передаваемого и хранимого оцифрованного сигнала

Для оценки возможности передачи оцифрованного сигнала в исходном виде рассмотрим ряд формул, из которых определим поток информации, формируемой оцифрованным сигналом.

В соответствии с теоремой Котельникова, минимальное значение частоты дискретизации определяется формулой [10]:

$$f_s = 2 \cdot \Delta f_0,$$

где – f_s частота дискретизации, Δf_0 – ширина оцифровываемого спектра (максимальная оцифровываемая частота).

При проектировании реальных цифровых устройств рекомендуется учитывать неидеальность преобразования сигнала и частота дискретизации, в таком случае, определяется из более общей формулы:

$$f_s = 2\Delta f_0 + k\Delta f_0,$$

где $k \geq 0$, поправочный коэффициент на нелинейности при дискретизации. Для сохранения формы сигнала при расчёте частоты дискретизации рекомендуется задавать значение поправочного коэффициента не менее 8, следовательно:

$$f_s \approx 10 \cdot \Delta f_0.$$

Поток данных для передачи дискретного сигнала, определяется по формуле:

$$B = n \cdot f_s,$$

где n – количество бит, кодирующих значение отсчёта.

Таким образом, необходимая пропускная способность канала зависит от количества бит, кодирующих отсчёт и частоты дискретизации, выбираемой по полосе спектра, в которой располагается полезный (наблюдаемый) сигнал:

$$B = n \cdot (2\Delta f_0 + k\Delta f_0), k \geq 0.$$

Кодирование в формате импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) 16 бит 2 канала, обеспечивает хранение значения квадратуры с разрешением до 16 бит (без потери информации), при этом объём пространства на один отсчёт равен 4 байтам или 32 битам.

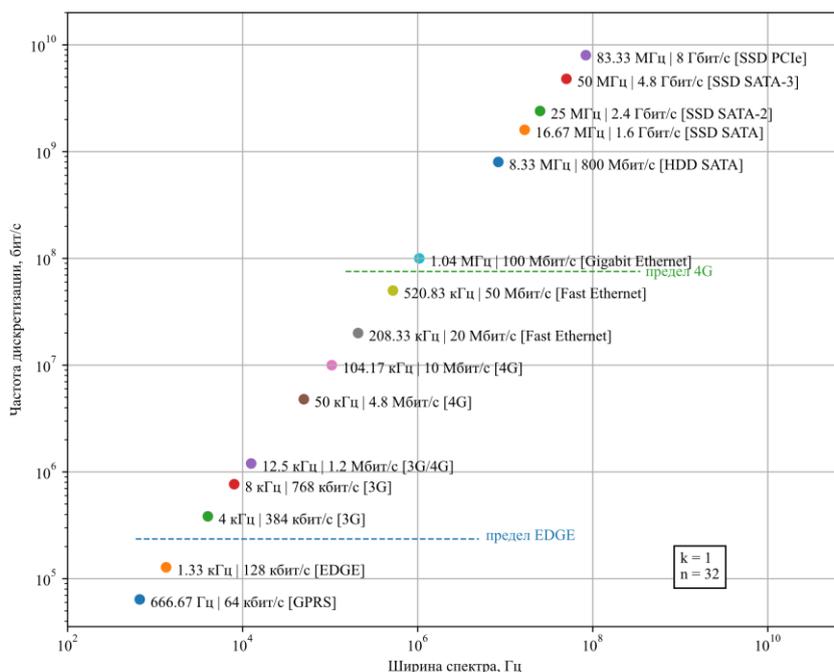


Рис. 5. Ширина полосы и соответствующая её скорость информационного потока (технология передачи данных)

На рис. 5 в логарифмическом масштабе приведён график зависимости ширины спектра оцифровываемого сигнала и потока данных (бит/с), формируемом для квадратурного значения сигнала разрешением 16 бит на каждую компоненту ($n = 32$) при значении поправочного коэффициента $k = 1$. Название технологии передачи данных, пропускной способности которой достаточно для передачи потока цифрового сигнала, приведено на рисунке в квадратных скобках. Таким образом можно сделать вывод, что для передачи сигнала с шириной спектра равной 1,04 МГц, в реальном масштабе времени, необходимо полностью использовать ресурс локальной вычислительной сети со скоростью 100 Мбит/с. Для качественного анализа сигнала передавать полосу шириной более 292 кГц ($k = 8$) проблематично при существующем уровне развития общедоступных глобальных сетей связи.

Передача сигналов на центральный узел в реальном масштабе времени

Исходя из данных, представленных на рис. 5, передачу информации в реальном масштабе времени целесообразнее осуществлять методами, отличными от передачи квадратурных составляющих оцифрованного сигнала. С учётом необходимости отображения информации на экране монитора, передача на центральный узел ИТРК может осуществляться в виде, пригодном для её непосредственного вывода в виде значений отображаемых пикселей (рис. 6).

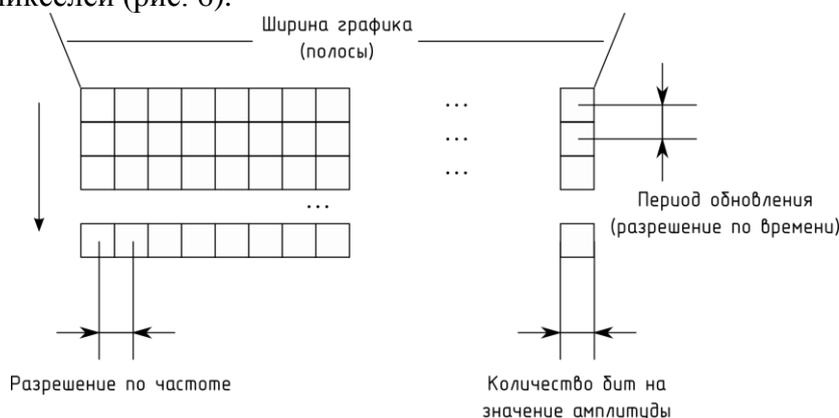


Рис. 6. Представление спектрограммы в растровом изображении

Разрешение по времени определяется, соответственно, периодом получения очередного отсчёта:

$$T = \frac{1}{f_s} ,$$

где f_s – частота дискретизации сигнала.

Разрешение по частоте определяется количеством точек преобразования:

$$\Delta f = \frac{\Delta f_0}{N} ,$$

где Δf_0 – ширина спектра сигнала; N – количество точек дискретного преобразования Фурье (ДПФ).

В общем случае передача результата вычисления быстрого преобразования Фурье (БПФ) ничем не отличается от передачи непосредственно отсчётов, за исключением предварительной обработки данных на периферийном узле.

Общая формула для расчёта необходимой пропускной способности в случае передачи строк на отображение:

$$B = N * W * R ,$$

где N – количество бит для передачи информации о значении уровня сигнала отображаемого пикселя; W – количество выводимых на график пикселей; R – количество выводимых строк за секунду.

Необходимо при визуальном анализе обратить внимание на предельно возможное количество кадров, которые способен отображать монитор за единицу времени (частота «обновления» экрана). Однако, при записи данных на носитель такие ограничения не требуются.

Например, при разрешении по времени 10 мс и 8 битами (256 градаций) на значение необходимая пропускная способность канала должна быть равна:

$B = 8 * 1920 * \frac{1000}{10} = 1,536 * 10^6$ бит/с, при использовании монитора с разрешением по ширине в 1920 пикселей.

В табл. 1 представлены расчётные значение пропускной способности канала в зависимости от параметров изображения и скорости обновления информации.

Таблица 1 – Необходимая пропускная способность для передачи изображения спектра

Количество выводимых строк в секунду	Количество отображаемых точек			
	256	512	1024	1920
16	32,8 кБит/с	65,6 кБит/с	131,1 кБит/с	245,8 кБит/с
24	49,2 кБит/с	98,3 кБит/с	196,7 кБит/с	368,7 кБит/с
30	61,5 кБит/с	122,9 кБит/с	245,8 кБит/с	460,8 кБит/с
60	122,9 кБит/с	245,8 кБит/с	491,6 кБит/с	921,6 кБит/с

На рис. 7 приведена зависимость доступных объёмов передаваемой информации при использовании различных поколений мобильных сетей передачи данных.

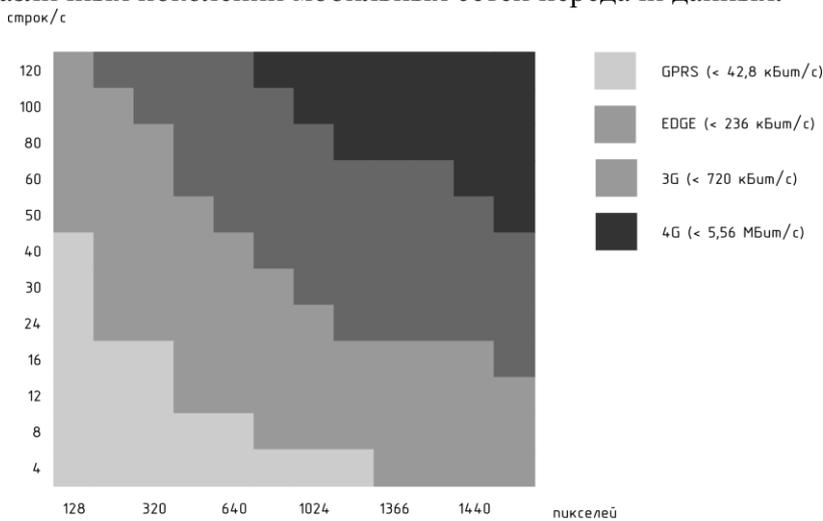


Рис. 7. Размеры и скорость отображения информации в зависимости от вида мобильной сети связи

Из представленных данных можно сделать вывод, что для эффективного мониторинга принимаемых сигналов при использовании канала связи мобильной сети необходимо задействовать стандарт 4G.

Заключение

Формирование сети из приёмных и передающих узлов на основе предлагаемого варианта испытательного комплекса позволяет достичь качественно нового уровня в разработке средств передачи информации в декаметровом диапазоне, а также при проведении научных исследований в области ионосферного распространения радиоволн.

Предложенный испытательный комплекс может использоваться для проверок характеристик существующих средств связи и для повышения эффективности и качества разработки новых помехозащищённых радиолиний.

Литература

1. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. Учебник для вузов. – М.: Связь, 1972. – 336 с.
2. A WebSDR is Software-Defined Radio receiver connected to the internet. URL: <http://websdr.org> (дата обращения 30.10.2020).
3. KiwiSDR Map. URL: <http://kiwisdr.com/public/> (дата обращения 04.11.2020).
4. Open source, multi-user SDR receiver software with web interface. URL: <https://github.com/ha7ilm/openwebrx> (дата обращения 04.11.2020).
5. KiwiSDR: Wide-band SDR + GPS cape for the BeagleBone Black. URL: <http://kiwisdr.com> (дата обращения 04.11.2020).
6. KiwiSDR design review Version 2.1 – February 2016 John Seamons, ZL/KF6VO. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://www.dropbox.com/s/i1bjyp1acghnc16/KiwiSDR.design.review.pdf?dl=1> (дата обращения: 04.11.2020).
7. HackRF. Open source hardware for software-defined radio. URL: <https://greatscottgadgets.com/hackrf/> (дата обращения 06.11.2020).

8. GNURadio the free & open software radio ecosystem. URL: <https://www.gnuradio.org/> (дата обращения 06.11.2020).

9. Николашин Ю.Л., Кулешов И.А., Будко П.А., Жолдасов Е.С., Жуков Г.А. SDR Радиоустройства и когнитивная радиосвязь в декаметровом диапазоне частот // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2015. №1. С. 20-31.

10. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.

References

1. Dolukhanov M.P. Rasprostraneniye radiovoln. Uchebnik dlya vuzov [Propagation of radio waves. Textbook for universities]. Moscow. Svyaz'. 1972. 336 p. (in Russian).

2. A WebSDR is Software-Defined Radio receiver connected to the internet. Available from: <http://websdr.org> [Accessed 30th October 2020].

3. KiwiSDR Map. Available at: <http://kiwisdr.com/public/> [Accessed 04th November 2020].

4. Open source, multi-user SDR receiver software with web interface. Available from: <https://github.com/ha7ilm/openwebrx> [Accessed 04th November 2020].

5. KiwiSDR: Wide-band SDR + GPS cape for the BeagleBone Black. Available from: <http://kiwisdr.com> [Accessed 04th November 2020].

6. KiwiSDR design review Version 2.1 – February 2016 John Seamons, ZL/KF6VO. Available from: <https://www.dropbox.com/s/i1bjyp1acghnc16/KiwiSDR.design.review.pdf?dl=1> [Accessed 04th November 2020].

7. HackRF. Open source hardware for software-defined radio. Available from: <https://greatscottgadgets.com/hackrf/> [Accessed 06th November 2020].

8. GNURadio the free & open software radio ecosystem. Available from: <https://www.gnuradio.org/> [Accessed 06th November 2020].

9. Nikolashin Yu.L., Kuleshov I.A., Budko P.A., Zholdasov E.S., Zhukov G.A. SDR Radio devices and cognitive radio communication in the decameter frequency range. High tech in Earth space Research. 2015. No. 1. Pp. 20-31 (in Russian).

10. Sergiyenko A.B. Tsifrovaya obrabotka signalov [Digital signal processing]. Saint-Petersburg. Piter. 2002. 608 p. (in Russian).

Статья поступила 03 декабря 2020 г.

Информация об авторах

Дяченко Антон Николаевич – Начальник отдела ПАО «Интелтех». Тлф.: +7(812)313-13-17. E-mail: DyachenkoAN@inteltech.ru. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская д. 8.

Construction of a geographically distributed test complex for remote route testing

A.N. Dyachenko

Annotation: *Problem statement: Analysis of the problems arising in the assessment of existing and development of new radio communication channels in the decameter wavelength range, a review of the available implementations of software-defined radio technologies and the formulation of requirements for the construction and composition of a geographically distributed test complex. Purpose of work: Formation of proposals for the construction of a test complex and assessment of ways of transferring information between the components of the complex. Practical relevance: A variant of constructing a test complex unit is presented, calculations of the amount of information for monitoring signals and methods of coding it during transmission are presented.*

Keywords: *distributed test complex; software-defined radio; SDR; decameter radio communication; open technologies.*

Information about Authors

Dyachenko Anton Nikolaevich – Head of Department of PJSC “Inteltech”. Tel.:+ 7 (812) 313-13-17. E-mail: DyachenkoAN@inteltech.ru. Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, ul. Kantemirovskay, 8.

Для цитирования: Дяченко А.Н. Построение территориально-распределённого испытательного комплекса для дистанционного проведения трассовых испытаний // Техника средств связи. 2020. № 4 (152). С. 65-73.

For citation: Dyachenko A.N. Construction of a geographically distributed test complex for remote route testing. Means of communication equipment. 2020. No 4 (152). Pp. 65-73 (in Russian).

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 004.056

Разработка методики внедрения машинного обучения для повышения информационной безопасности web-приложения

Ковцур М.М., Кириллов Д.И., Михайлова А.В., Потемкин П.А.

Аннотация: В информационном мире двадцать первого века люди используют миллиарды web-приложений, обеспечивающих выполнение множества функций, начиная от простых математических операций и заканчивая системами интернет-банков, использующих в своей работе государственные базы данных, и электронный документооборот. Web-приложения ежедневно подвергаются различным атакам. Поэтому, использование Machine Learning, в перспективе, может решить сразу две задачи – автоматизацию процессов, которые ранее требовали участия человека, и быструю обработку больших объемов информации с последующим анализом. Работа посвящена анализу информационной безопасности web-приложений и внедрению такой технологии, как машинное обучение. Объектом исследования является информационная безопасность web-приложений. Предмет исследования – модуль безопасности web-приложения, основанный на технологии машинного обучения. Целью работы является разработка методики внедрения машинного обучения для повышения безопасности web-приложения и построение модуля безопасности web-приложения на основе предложенной методики. В работе представлены методические указания с применением технологии машинного обучения в web-приложении для повышения информационной безопасности, а также концепция и структура модуля, применяющего технологии машинного обучения. Проведен практический эксперимент с внедрением разработанного модуля безопасности, выполнена экспериментальная оценка таких показателей, как: время обучения, линейность, точность. В работе осуществлен выбор метода обучения, а также инструментария для разработки модели машинного обучения. Представленные результаты могут быть использованы при разработке и проектировании систем информационной безопасности web-приложений.

Ключевые слова: web-приложение; сервер; машинное обучение; аномально поведение; учетная запись; пользователь.

Введение

Для обеспечения информационной безопасности существуют различные механизмы и технологии. Классическое представление безопасного web-приложения состоит из следующих аспектов: разграничение прав доступа, использование механизмов защиты баз данных, постоянный мониторинг с целью устранения уязвимостей web-приложений, использование новых технологий обеспечения непрерывной работы сервера.

Вопросы применения машинного обучения в информационных системах являются актуальными и рассматриваются в таких работах, как «Анализ данных и машинное обучение на платформе Ms Sql Server» [1], «Машинный интеллект. Очерки по теории машинного обучения и искусственного интеллекта» [2], «Обучение с подкреплением» [3], однако, в существующих исследованиях не представлена методика внедрения машинного обучения (МО) в web.

В данной работе предлагается методика внедрения МО в web-приложение.

Разработка методики внедрения машинного обучения в web-приложение

Для упрощения внедрения технологий машинного обучения в информационную систему разработана методика, состоящая из нескольких этапов.

На первом этапе необходимо изучить принцип работы и структуру *web*-приложения, информационную безопасность которого требуется повысить. Определить особенности работы *web*-приложения и выделить наиболее важные аспекты и функции с точки зрения информационной безопасности (ИБ). Определение недопустимых действий пользователя для дальнейшего применения МО.

На втором этапе определяются цель использования машинного обучения, задачи, необходимые для достижения цели, и метрики, по которым будут анализироваться результаты разработанной модели. В частности, для формализации задач МО могут быть определены потенциальные угрозы и их источники.

На третьем этапе необходимо выбрать метод МО на основе определенных направлений предотвращения угроз. Например, анализируя уязвимости *web*-приложения, выделяются критерии отбора метода обучения модели.

На четвертом этапе необходимо реализовать сбор статистических данных. Как правило, для сбора данных необходимо выявить наиболее значимые параметры и свойства информационной системы, относительно которых администратор сможет определить аномальные действия. Например, реализация сбора данных о пользователе может включать следующие параметры: учетная запись, *IP*-адрес, время работы в *web*-приложении, последовательная история посещения страниц и нарушения прав доступа.

На пятом этапе необходимо провести обработку и нормализацию для упрощения будущей классификации. Например, составить таблицу, выделить основные поля, обработать пропуски и пустые значения, привести всё к единому формату, произвести необходимые математические операции для дополнения данных необходимыми значениями.

На шестом этапе требуется провести классификацию данных, для этого необходимо построить схематичное представление будущей модели данных. Например, можно составить структурную схему идентификации данных.

На седьмом этапе, для реализации МО формируется классифицированная модель, работа которой основывается на алгоритме структуризации входных данных, с целью определения оценки ситуации. При определении оценки необходимо также учесть все ошибки и исключения.

На восьмом этапе выполняется разработка модели. Необходимо выбрать инструменты для разработки, такие как: язык программирования, среда разработки, методы работы с данными. Для этой задачи могут быть применены язык *PHP*, библиотеки *php-ml* и *Rubix ML*. Для использования расширений, в *web*-приложение необходимо установить все необходимые пакеты библиотек МО. В ходе разработки лучше всего использовать внутренний метод тестирования модели – метод спиральной модели.

На девятом этапе проводится нагрузочное тестирование разработанной и внедренной модели машинного обучения в реальных условиях работы приложения. Для этого необходимо выполнить планомерные атаки, обходы правил безопасности, нарушение прав доступа учетных записей и прочие определенные запрещенные действия. Данный этап позволит доработать построенную модель, а именно, добавить все случаи в обучающую выборку, тем самым повысить точность результатов прогнозирования.

Рассмотрим реализацию методики внедрения МО в *web*-приложение.

Постановка задачи машинного обучения

В данной работе поставлена задача автоматизировать процесс мониторинга действий пользователя на *web*-приложении, с целью выявления аномалий. Для выявления аномалий необходимо определить действия или свойства учетных записей пользователя [4], попадающие в эту категорию: проверка *IP*-адреса на соответствие адресов в локальной базе данных; использование различных программ для сокрытия местоположения, такие как *VPN* и *Tor* браузер; появление новых учетных записей в базе данных без создания их через *web*-

приложения и без записей о них в лог-файлах; осуществление действий (редактирование, удаление) учётных записей без данных привилегий и прав доступа; появления новых записей в базе данных без использования *web*-приложения или необходимых *web*-страниц.

В соответствии с приведенными аномалиями в поведении посетителей, *web*-приложения определяются следующие направления [5], которые будет отслеживать разработанная модель: отслеживание атак на *web*-приложение; скрытие данных о местоположении пользователей (*IP*-адреса, данные об используемом устройстве и информации об используемом программном обеспечении (ПО)); несанкционированные действия учётных записей, обладающие ограниченными правами доступа.

Таким образом, разработанная модель должна отслеживать аномальное действие пользователей в информационной системе, а также выявлять потенциальные атаки злоумышленников.

Обзор инструментария

Одним из распространенных языков программирования для написания моделей машинного обучения является простой, высокоуровневый язык программирования *Python* [6]. Данный язык программирования лучше всего подходит для выполнения задач машинного обучения, поскольку программы, написанные на языке *Python*, будут наиболее интерпретируемы, по сравнению с подобными программами, написанными на других языках. Основными достоинствами данного языка программирования является высокая производительность при обработке информации, а также наличие множества подготовленных алгоритмов и обученных моделей на простых задачах для выполнения более сложных. У данного языка множества платформ, используя которые можно создать не только машинное обучение, но и методы глубокого обучения, такие как нейронные сети. К таким платформам относятся *SciPy*, *Dask*, *Numba*, *Pycharm*, (*HPAT*) и *Cython*.

Вторым инструментом для создания моделей машинного обучения является *Matlab*. Данная платформа позволяет использовать методы математического моделирования, на основе которых обеспечивается построение моделей на методах глубокого обучения таких, как *Deep Q-Network (DQN)*, *Advantage Actor Critic (A2C)* и *Deep Deterministic Policy Gradients (DDPG)*.

Для разработки и внедрения в *web*-приложения моделей машинного обучения для языка *PHP* было создано специальное расширение – библиотека *php-ml (Machine Learning library for PHP)*. Данное решение представляет из себя активно-развивающуюся библиотеку для создания моделей классификации и кластеризации данных, прогнозирования ситуации и анализа статистических данных [7]. Библиотека позволяет использовать методы глубокого обучения, построение нейронной сети и интегрировать все построенные модели напрямую в *web*-приложения. Используется язык *php*, что позволяет существенно снизить нагрузку потребляемых ресурсов *web*-сервера.

Компания *Microsoft* предоставляет бесплатную платформу для построения моделей машинного обучения – «*Azure Machine Learning Studio*». Основным достоинством данной модели является то, что любой разработчик, независимо от навыков работы с алгоритмами и владения теоретическим материалом, может построить модель на основе подготовленной и загруженной обучающей выборки.

Платформа *IBM Watson*, созданная корпорацией *IBM*, содержит обширные возможности инструментария, предназначенного для разработчиков. Данная платформа обладает набором *API* с открытым кодом. Все пользователи платформы имеют доступ к реализованным алгоритмам, а также необходимый для старта набор инструментов. Одна из популярнейших возможностей данной программы – это создание чат-ботов [8].

TensorFlow является платформой с открытым кодом, которая была разработана исключительно для создания моделей машинного обучения. В основе данной работы лежит использование библиотек численных расчетов, использующих графы потока данных.

Платформа *TensorFlow* обеспечивает доступ к большому количеству документации, тренировочных материалов и онлайн ресурсов.

Для разработки модели МО был выбран язык программирования *php* с использованием расширения *php-ml*.

Выбор методов обучения

Выбранное расширение *php-ml* имеет полный набор методов обучения, начиная от методов контролируемого обучения и заканчивая нейронными сетями. Изучив документацию *php-ml* и существующие модели, были выбраны следующие критерии отбора метода обучения: бесплатность; точность; время обучения; линейность; количество параметров; быстродействие.

На основе данных критериев был произведен сравнительный анализ методов обучения. Для наглядности сравнительного анализа была составлена табл. 1 сравнения методов обучения.

Таблица 1 – Сравнения алгоритмов обучения

Алгоритм	Точность	Время обучения (часы)	Линейность	Количество параметров	Классификация	Примечание
Метод наименьших квадратов	>50%	335,83	+	5	Многоклассовая	Низкие требования к памяти
Лес деревьев решений	>50-60%	344,08	-	6	Многоклассовая	Низкие требования к памяти и простота реализации
Джунгли деревьев решений	>50-60%	388,92	-	6	Многоклассовая	Низкие требования к памяти
Улучшенное дерево принятия решений	>60-70%	384,03	-	6	Многоклассовая	Высокие требования к памяти
Нейронная сеть	>60-70%	294	-	9	Многоклассовая	Возможна дополнительная настройка
Однослойный перцептрон	>50%	399	+	4	Двухклассовая	Высокие требования к памяти
Метод опорных векторов	>40%	257,07	+	5	Двухклассовая	Предназначена для больших наборов признаков
Локальные глубинные методы опорных векторов	>50%	337,78	-	8	Двухклассовая	Предназначена для больших наборов признаков
Байесовские методы	>40%	347,99	+	3	Двухклассовая	Предназначена для больших наборов признаков
Методы опорных векторов	>50%	351,25	-	2	Многоклассовая	Предназначена для больших наборов признаков
Метод <i>k</i> -средних	>50%	375,27	+	4	Многоклассовая	Предназначена для больших наборов признаков

На основе полученных результатов сравнительного анализа методов построен график (рис. 1), показывающий наиболее эффективные методы для решения данной задачи.

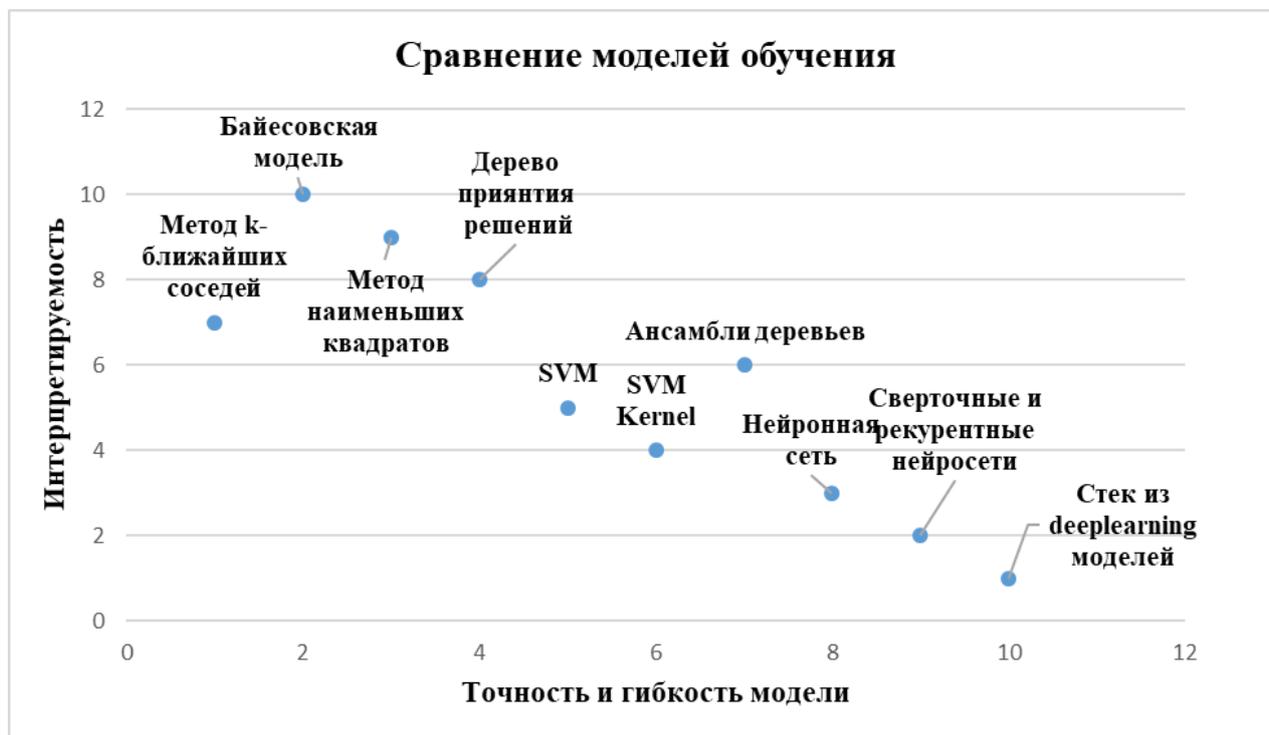


Рис. 1. График сравнения моделей машинного обучения

Для разработки модели анализа данных был выбран метод контролируемого обучения – метод наименьших квадратов. Он является наиболее простым в реализации, а также позволяет построить линейную модель по всем входным данным. Все полученные данные интерпретируемы для пользователей и дают четкую оценку ситуации.

Разработка и внедрение алгоритма сбора данных

При сборе статистических данных, которые могут собираться из разных источников (лог-файлы, база данных и т. д.) могут содержать ошибки, неточности, пропущенные значения повреждения, которые влияют на качество обучения модели отрицательно. Сбор тренировочных данных был осуществлен с помощью файла *log.php* (рис. 2), были получены следующие данные о посетителях *web*-приложения, с помощью следующих переменных.

«`$_SERVER`» – зарезервированная переменная языка программирования *PHP*, которая обеспечивает информацию с *Web*-сервера. «`$_SERVER ['HTTP_USER_AGENT']`» – использование данной переменной позволило получить информацию об используемом браузере и операционной системе посетителей *web*-приложения. Для того, чтобы узнать адрес страницы, с которой была произведена запись и использовалась переменная – «`$_SERVER ['REQUEST_URI']`». Для записи учетной записи пользователей, которые посещали или производили различные операции в *web*-приложении была использована переменная – «`$_SERVER ['PHP_AUTH_USER']`». Для определения *IP*-адреса пользователя в сети была использована переменная – «`$_SERVER ['REMOTE_ADDR']`». Использование данной переменной для сбора статистических данных позволило предотвратить несанкционированный доступ. Переменная «`$_SERVER ['HTTP_REFERER']`» – показывает откуда пришел пользователь, о сайтах, поместивших *web*-приложение ссылку. Последней используемой переменной для анализа является `$dtime = date ('r')`, которая позволяет определить точную дату и время действия пользователя.

```

<?php
$agent = $_SERVER['HTTP_USER_AGENT'];//какой браузер и ОС пользуется юзер.
$uri = $_SERVER['REQUEST_URI'];//с какой страницы была произведена запись.
$user = $_SERVER['PHP_AUTH_USER'];//запишется имя пользователя.
$ip = $_SERVER['REMOTE_ADDR'];//определяется ip пользователя
$ref = $_SERVER['HTTP_REFERER'];//показывает откуда пришел пользователь, о сайтах, поместивших на наш сайт ссылку.
$dttime = date('r');

if($ref == ""){
$ref = "None";
}
if($user == ""){
$user = $_SESSION["login"];
}

$bodytag = str_ireplace("<",">",$agent);
$agents = explode(" ", $bodytag);
$os = explode(" ", $agents[0]);
$braz = explode(" ", $agents[1]);

$data_class = "\n$dttime|$ip|$os[0]|$os[1]|$braz[0]|$braz[1]|$agents[2]|$uri|$ref|$user";
$fp = fopen("templates/module/ml/temps.csv", "a");
fputs($fp, $data_class);
fclose($fp);

```

Рис. 2. Исходный код записи в лог файл (*log.php*)

При сборе первичных данных необходимо было решить следующие типичные проблемы процесса нормализации, которые могли повлиять на качество данных и предиктивной оценке, выдаваемой построенной модели анализа. Неполнота – поля, содержащие пропуски. Присутствие ошибочных записей или выбросов. Наличие конфликтующих между собой записей или расхождения с построенной моделью сбора данных. Необходимое условие для реализации наиболее точной модели анализа – это наличие качественных данных. Нормализация данных была проведена для переменной – «*\$_SERVER ['HTTP_USER_AGENT']*». Исходя из всех вышеперечисленных особенностей работы анализа статистики, сбор тренировочного файла был реализован и внедрен в используемое *web*-приложение (рис. 3) в виде табличного файла формата *csv*, что позволило автоматизировать процесс сбора данных о действиях всех зарегистрированных пользователей *web*-приложения, а также отслеживать время и дату изменения данных.

Date	ip-add	serever	os	browser	info	agent3	uri	referer	user
Fri, 29 May	88.201.15	Mozilla/5.	Windows	AppleWeb	KHTML, lik	Chrome/8.	/lots.php	http://cm	DemoRu15Admin
Fri, 29 May	88.201.15	Mozilla/5.	Windows	AppleWeb	KHTML, lik	Chrome/8.	/lots.php	http://cm	DemoRu15Admin
Fri, 29 May	88.201.15	Mozilla/5.	Windows	AppleWeb	KHTML, lik	Chrome/8.	/racks.php	http://cm	DemoRu15Admin
Fri, 29 May	88.201.15	Mozilla/5.	Windows	AppleWeb	KHTML, lik	Chrome/8.	/racks.php	http://cm	DemoRu15Admin
Fri, 29 May	88.201.15	Mozilla/5.	Windows	AppleWeb	KHTML, lik	Chrome/8.	/boxes.ph	http://cm	DemoRu15Admin
Fri, 29 May	88.201.15	Mozilla/5.	Windows	AppleWeb	KHTML, lik	Chrome/8.	/boxes.ph	http://cm	DemoRu15Admin

Рис. 3. Пример записи в лог в файл *temps.csv*

В результате автоматической записи была записана месячная история посещения *web*-приложения, что составило 13491 строк по 10 ячеек в каждой, что соответствует 13491 действию пользователей (рис. 3). Для дальнейшего внедрения в *web*-приложения машинного обучения необходимо было классифицировать полученную статистику и решить несколько важных задач, таких как потеря производительности и эффективная работа модели анализа данных.

Классификация данных

Все входные параметры были определены диапазоном вероятностной оценки для дальнейшего построения модели данных. За основу были взяты используемые для сбора информации переменные. Одним из главных параметров модели является – указатель *web*-адреса страницы, с которой перешёл пользователь или посетитель на *web*-сайт. С помощью данного параметра решено было выявлять все случаи несанкционированного доступа,

зарегистрированных пользователей, права доступа которых ограничены на выполнения различных действий [9]. Так, например, был построен анализ реализации прав доступа *web*-приложения, на основе которого все пользователи открывавшие страницы добавления, редактирования или удаления значений из различных таблиц базы данных, не имевшие на это привилегий автоматически оценивались от 1 до 5.

Вторым исследуемым параметром входных данных стала информация об используемом оборудовании посетителей и пользователей *web*-приложения, а именно данные об операционной системе, язык, версия, название *web*-браузера и программное обеспечение с которого пользователь посетил данное *web*-приложение. Данная классификация позволила точно определить новых пользователей и посетителей *web*-приложения, для предотвращения, в будущем угрозы утечки данных, удаления или искажения значений в базе данных [10].

Для постоянного мониторинга авторизованных пользователей в сети главным указателем на принадлежность пользователей стала учетная запись. При анализе данного параметра выявить аномалии и четко определить учетную запись помогла классификация, полученная в диапазоне от 1 до 4. Использование данного параметра позволило обеспечить анализ учетных записей на предмет взлома или скомпрометированных данных авторизации, таких как логин и пароль [11].

Последним используемым параметром в системе стал *IP*-адрес посетителей *web*-приложения. Для определения оценки была построена классификация диапазона значений от 1 до 4.

Разработанная классификация представлена в матрице классификационной модели (табл. 2).

Таблица 2 – Матрица классификационной модели

Оценка\Параметр	<i>Web</i> -адрес	Используемое оборудование посетителей	Учетная запись	<i>IP</i> -адрес
1	4 ошибки	отсутствие информации	не зарегистрирован	не зарегистрирован
2	3 ошибки	частичное совпадение (<i>web</i> -браузер, операционная система, устройство)	присутствует до 250 раз	присутствует до 250 раз
3	2 ошибки	2 или 3 совпадения об используемом оборудовании	присутствует от 251 до 1000 раз	присутствует от 251 до 1000 раз
4	1 ошибка	Данное устройство зарегистрировано в системе	более 1000	более 1000
5	Нет нарушений	-	-	-

По всем входным параметрам была проведена общая классификация поведения пользователей на основе которой было составлено схематичное разделение направлений отслеживания модели (рис. 4).



Рис. 4. Интерпретация классифицированных параметров

После разработки схемы классификации данных был разработан алгоритм интерпретации входных параметров, с помощью которого проводился аудит данных для определения вероятностной оценки действий пользователей.

Для тренировки модели, все данные были нормализованы и преобразованы в файл формата *csv* (рис. 5).

	A	B	C	D	E
1	Location	Equipmen	login	ip-address	prediction
2	5	3	1	1	5
3	4	3	1	1	4
4	5	4	1	1	4
5	4	3	1	1	4
6	4	3	1	1	4

Рис. 5. Тренировочные данные

Проведение классификации – это только половина работы, важно поддерживать сохранение состояния актуальной классификации. Для этого необходимо периодически проводит целенаправленный аудит данных *web*-приложения, тестирование модели на ложных атаках или запрещенных действиях пользователям, а также необходимо сохранить тренировочную выборку обученной модели для того, чтобы сделать резервную копию, которая будет использована, в случае восстановления работы системы при сбоях, остановках или нарушениях работы *web*-приложения [12].

Разработка модели машинного обучения

После этого были введены основные переменные, которые передавали интерпретируемые значения для использования машинного обучения:

Для отслеживания соблюдения политик безопасности, определенных ранее, была использована переменная – « $\$location = \$perhod + \$error_token + \$error_input + \$user_prava + \$users_actions;$ ». Данная переменная использует следующие «маркеры», показывающие нарушения – переменная « $\$perhod$ » позволяет отслеживать переходы между страницами и выявлять несоответствия при открытии различных страниц, « $\$error_token$ » – показывает ошибку введенного токена страницы. Переменная « $\$error_input$ » срабатывает тогда, когда были получены неверные пользовательские данные при авторизации. Переменные « $\$user_prava$ » и « $\$users_actions$ » отображают нарушения введенного разграничения прав доступа.

Использовании конструкции – « $\$os_and_browser = \$language_user + \$os_user + \$browser_user + \$pc_user;$ » позволяет сверить информацию об использованном пользователем устройстве, ПО и *web*-браузере.

И наконец для проверки частотности логин и *IP*-адреса были введены следующие переменные соответственно « $\$login_count$ » и « $\$ip_count$ ».

С помощью команды – «`$dataset = new CsvDataset ('train-data.csv', 4, true);`» была подключена тренировочная выборка данных на основе которой и проводилось обучение будущей модели анализа. В данной команде мы подключаем файл «`train.csv`», считывая для тренировки классификатора 4 столбца, при этом ключевое слово `true` позволяет считывать файл со второй строки, пропуская заголовки. Вся обучающая выборка была записана в массив – «`$dataset`».

С помощью введения переменной «`$samples`» и использования метода – «`getSamples()`» было произведено обращение к массиву тренировочной выборки «`$dataset`» с помощью команды «`$samples = $dataset->getSamples();`». Данная методика использовалась для разделения тренировочной выборки с классификацией. Для предсказания модели была введена переменная «`$targets = $dataset->getTargets();`» подобным методом, что и переменная «`$samples`».

После этого все используемые переменные были записаны в массив «`$test_data`» тестовых данных для определения оценки поведения пользователя при поступлении и обработке внешних данных.

«`$regression = new LeastSquares();`» – данная команда означает, что в переменную «`$regression`» записывается информация об используемом методе анализа данных, а именно, методе наименьших квадратов (`new LeastSquares()`).

После этого с помощью введенной переменной «`$regression`» в модель обучения были записаны тренировочные данные с сформированной классификацией используя метод «`train()`» с помощью команды «`$regression->train($samples, $targets);`».

Был введен новый массив «`$predict`», с помощью которого проводилась предиктивная оценка поступивших тестовых данных с помощью метода «`predict([$test_data,])`», используя следующую конструкцию «`$predict = $regression->predict([$test_data,]);`».

Данная модель служит простым примером использования методов машинного обучения для решения задач, без использования сложных алгоритмов и тяжелых скриптов. Разработанный программный продукт (рис. 6) использует лишь одну внешнюю библиотеку и 2 внешних файла – это файл с тренировочными данными и файл сбора статистических данных для получения тестовых данных. При этом полученный алгоритм может быть применен для решения любой задачи, поскольку все анализируемые значения являются интерпретируемыми, то есть всем входным параметрам даётся числовая оценка, на основе которой уже и строится предсказание с использованием математических преобразований [13].

```
#!/usr/bin/php
include "logs.php";
require "vendor/autoload.php";

use Phpm1\Dataset\CsvDataset;
use Phpm1\Regression\LeastSquares;

$dataset = new CsvDataset('train-data.csv', 4, true);
$samples = $dataset->getSamples();
$targets = $dataset->getTargets();

$test_data = array(
    $location,
    $os,
    $login,
    $ip
);

$regression = new LeastSquares();
$regression->train($samples, $targets);
$predict = $regression->predict([
    $test_data,
]);
```

Рис. 6. Алгоритм модели анализа данных

Внедрение модели машинного обучения в модуль безопасности

Был реализован механизм оповещения администратора информационной системе при выявлении случаев аномального поведения пользователей, а также введена автоматическая запись всех выявленных инцидентов в файл формата *csv actions.csv* для дальнейшего использования с целью повышения информационной безопасности *web*-приложения.

Структура разработанного модуля безопасности представлена на рис. 7:

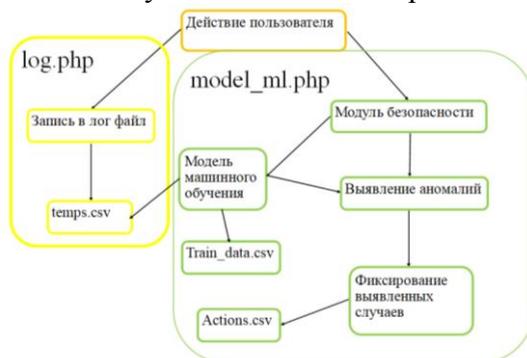


Рис. 7. Структурная схема модуля безопасности

Все действия пользователей фиксируются и записываются в лог файл с помощью *log.php*. Параллельно с этим процессом, происходит анализа действий с целью выявления аномалий. После чего происходит определение поведения пользователя в *web*-приложении, с дальнейшим оповещением администратора приложения при появлении аномалий.

Экспериментальная оценка разработанного модуля безопасности

В ходе разработки модуля безопасности *web*-приложения был использован внутренний метод тестирования – метод спиральной модели [14]. При проведении внешних испытаний [15] работы модуля безопасности путем тестирования *web*-приложения были получены следующие результаты:

тестирование показало, что разработанный программный продукт способствует отслеживанию атак на *web*-приложение;

также при тестировании подтвердилось, что при помощи машинного обучения разработанный модуль обеспечивает отслеживание авторизованных пользователей в системе использующих новое устройство, программное обеспечение, *web*-браузер и *IP*-адрес;

при создании подозрительной активности, а также нарушений определенных политик безопасности *web*-приложения, разработанный модуль позволил отследить все аномальные действия.



Рис. 8. График эффективности работы модуля безопасности

Разработанная модель машинного обучения имеет высокую точность, примерно равную 77 %, а вероятность ошибки данной модели составляет, примерно 23 %.

Разработанная модель анализа действий пользователя имеет следующие достоинства: простота реализации обеспечивается минимальным количеством входных параметров и линейностью выбранной классификацией данных;

бесплатность – данная модель была разработана при использовании открытых источников и бесплатных расширений, таких как *php-ml* и *Rubix ML*;

время обучения – для обучения данной модели достаточно месяца сбора данных о действиях пользователей;

точность оценки модели составляет примерно 77 %.

Но также разработанная модель имеет следующие недостатки: отсутствие отслеживания *sql*-инъекций; производительность и точность данной модели возможно повысить при использовании методов глубокого обучения.

Заключение

Благодаря развитию информационных технологий такое направление, как информационная безопасность, позволило изучить и разработать методику противодействия различным атакам. Но это также спровоцировало злоумышленников развивать методики получения информации, начиная от социального инжиниринга и заканчивая вредоносными программами, червями и троянками.

Поэтому в ходе выполнения данной работы рассмотрена актуальная задача – обеспечение информационной безопасности *web*-приложения. Поставленная цель достигнута, а также решены следующие задачи:

определены задачи машинного обучения и реализован отбор критериев выбора метода обучения. В результате выполнения данной задачи был проведен сравнительный анализ методов обучения с целью выявления наиболее эффективных для решения данной задачи;

реализован сбор статистических данных, с последующей обработкой информации и классификацией, в результате чего была получена тренировочная выборка;

разработана и внедрена в *web*-приложение регрессионная модель анализа поведения пользователей, с целью выявления аномалий;

в ходе использования разработанной модели сформирована методика внедрения машинного обучения в *web*-приложение;

проведено тестирование разработанного модуля безопасности *web*-приложения.

Стоит отметить, что использование машинного обучения для обеспечения информационной безопасности позволяет обеспечить постоянный мониторинг всей системы. Для решения задач обеспечения безопасности необходимо использовать машинное обучение только тогда, когда определена цель применения модели МО, предполагаемая точность предсказания, критерии отбора. Выбор метода обучения основывается на логических выводах. Любую разработанную модель можно постоянно совершенствовать, что позволяет полностью автоматизировать различные процессы. Однако, присутствие человека при использовании машинного обучения просто необходимо, поскольку, сегодня искусственный интеллект не всегда может точно дать оценку ситуации основываясь только на входных данных.

Литература

1. Кондрашов Ю.Н. Анализ данных и машинное обучение на платформе *Ms Sql Server*. КноРус, 2019. С. 170-172.
2. Шумский С.А. Машинный интеллект. Очерки по теории машинного обучения и искусственного интеллекта. Издательский Центр РИОР, 2019. С. 24-25.
3. Саттон Р.С., Барто Э.Дж. Обучение с подкреплением. М. Бином. Лаборатория знаний, 2017. С. 113.
4. Ушаков И.А. Инновационная технология качественного формирования профессионального тезауруса личности / Ушаков И.А. // Глобальный научный потенциал. 2013. № 7 (28). С. 69-71.
5. Котенко И.В., Ушаков И.А. Технологии Больших данных для мониторинга компьютерной безопасности // Защита информации. Инсайд. 2017. № 3 (75). С. 23-33.
6. Барский А.Б. Искусственный интеллект и логические нейронные сети. Общество с ограниченной ответственностью "Издательский центр "Интермедия", 2019. С. 9-11.

7. Дмитриев А.С., Розалиев В.Л. Основы разработки web-приложений. Волгоград. ВолгГТУ. 2019. 82 с.
8. Герлинг Е.Ю., К.А. Ахрамеева. Обзор современного программного обеспечения, использующего методы стеганографии // Экономика и качество систем связи. 2019. № 3 (13). С. 51-58.
9. Красов А.В., Штеренберг С.И., Фахрутдинов Р.М., Рыжаков Д.В., Пестов И.Е. Анализ информационной безопасности предприятия на основе сбора данных пользователей с открытых ресурсов и мониторинга информационных ресурсов с использованием машинного обучения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 10. С. 36-40.
10. Бакаева Ж.Ю. Информационная безопасность. Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова. 2019. 62 с.
11. Клименко И.С. Информационная безопасность и защита информации: модели и методы управления. Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М, 2020. С. 34-35.
12. Черемисин А.Б. Современные технологии: проблемы инновационного развития. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука». 2019. С. 210-214.
13. Сахаров Д.В., Левин М.В., Фостач Е.С., Виткова Л.А. Исследование механизмов обеспечения защищенного доступа к данным, размещенным в облачной инфраструктуре // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 2. С. 40-46.
14. Игнатьев А.В. Тестирование и отладка программного обеспечения. Учебно-методическое пособие. Волгоград: ВГУ. 2018. С. 5-7.
15. Ломаев Ю.С., Толстых А.В., Звонарь В.Д. Модификация подходов проведения тестирования программного обеспечения при разработке бортового программного обеспечения. Сер. "Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ». 2018. №50. С. 109-113.

References

1. Kondrashov Yu.N. Data Analysis and Machine Learning on the Ms Sql Server Platform. KnoRus. 2019. Pp. 170-172 (in Russian).
2. Shumsky S.A. Machine intelligence. Essays on the theory of machine learning and artificial intelligence. RIOR Publishing Center. 2019. Pp. 24-25 (in Russian).
3. Sutton R.S., Barto E.J. Reinforced training. Binomial. Laboratory of Knowledge. 2017. P. 113 (in Russian).
4. Ushakov I.A. Innovative technology for the qualitative formation of a professional personality thesauru. Ushakov I.A. Global scientific potential. 2013. No. 7 (28). Pp. 69-71 (in Russian).
5. Kotenko I.V., Ushakov I. Big Data Technologies for Computer Security Monitoring. Data protection. Insider. 2017. No 3 (75). Pp. 23-33 (in Russian).
6. Barsky A.B. Artificial intelligence and logical neural networks. Limited liability company "Publishing center" Intermedia ". 2019. Pp. 9-11 (in Russian).
7. Dmitriev A.S., Rozaliev V.L. Basics of web application development. Volgograd State Technical University. Volgograd. 2019. P. 82 (in Russian).
8. Gerling E.Y. Review of modern software using steganography methods. E.Yu. Gerling, K.A. Akhrameeva. Economics and quality of communication systems. 2019. No 3 (13). Pp. 51-58 (in Russian).
9. Krasov A.V., Shterenberg S.I., Fakhrutdinov R.M., Ryzhakov D.V., Pestov I.E. Analysis of enterprise information security based on user data collection from open resources and monitoring information resources using machine learning. T-Comm: Telecommunications and transport. 2018.V. 12. No. 10. Pp. 36-40 (in Russian).
10. Bakaeva Zh.Y. Information Security. Chuvash State University named after I.N. Ulyanova. 2019. P. 62 (in Russian).
11. Klimenko I.S. Information security and information protection: models and management methods. Limited Liability Company "Scientific and Publishing Center INFRA-M. 2020. Pp. 34-35 (in Russian).
12. Cheremisin A.B. Modern technologies: problems of innovative development. International Center for Scientific Partnership "New Science", Petrozavodsk. 2019. Pp. 210-214 (in Russian).
13. Sakharov D.V., Levin M.V., Fostach E.S., Vitkova L.A. Investigation of the mechanisms for securing secure access to data hosted in the cloud infrastructure. High technology in space exploration of the Earth. 2017. Vol. 9. No. 2. Pp. 40-46 (in Russian).
14. Ignatiev A.V. Testing and debugging software. Teaching aid. Volgograd. 2018. Pp. 5-7 (in Russian).
15. Lomaev Yu.S., Tolstykh A.V., Ringer V.D. Modification of approaches for conducting software testing in the development of on-board software. Ser. "The library of the magazine" Voennekh. Bulletin of BSTU "No. 50". 2018. Pp. 109-113 (in Russian).

Статья поступила 17 декабря 2020 г.

Информация об авторах

Ковцур Максим Михайлович – Кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени профессора М.А. Бонч-Бруевича. E-mail: maxkovzur@mail.ru.

Кириллов Даниил Игоревич – Старший преподаватель, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени профессора М.А. Бонч-Бруевича. E-mail: daniil.kirillov@gmail.com.

Михайлова Анастасия Валерьевна – Студент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени профессора М.А. Бонч-Бруевича. E-mail: ova.007@yandex.ru. Тел.: +7-911-262-85-02.

Потемкин Павел Андреевич – Студент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени профессора М.А. Бонч-Бруевича. E-mail: potiomkinpa98@gmail.com. Тел.: +7-981-127-92-85.

Development of a machine learning implementation methodology to increase the information security of a web application

M.M. Kovtsur, D.I. Kirillov, A.V. Mikhailova, P.A. Potemkin

Annotation: *In the information world of the twenty-first century, people use billions of web applications that provide a variety of functions, ranging from simple mathematical operations to Internet banking systems that use government databases in their work, and electronic document management. Therefore, the use of Machine Learning, in the future, can solve two problems at once: automation of processes that previously required human participation, and fast processing of large amounts of information with subsequent analysis. The work is devoted to the analysis of information security of web applications and the introduction of technology such as machine learning. The object of research is the information security of web applications. The subject of the research is a web application security module based on machine learning technology. The aim of the work is to develop a methodology for introducing machine learning to increase the security of a web application and build a security module for a web application based on the proposed methodology. The paper presents a methodology for introducing machine learning into a web application to improve information security, presents the concept and structure of a web application module that uses machine learning technologies. A practical experiment was carried out with the implementation of the developed safety module, and an experimental assessment of such indicators as training time, speed, linearity, accuracy, and the number of parameters was performed. The paper presents an example of the choice of a learning method, and also provides an overview and selection of tools for developing a machine learning model. The presented results can be used in the development and design of information security systems for web applications.*

Keywords: *web application; server; machine learning; abnormal behavior; Account; user.*

Information about authors

Maxim Mickhailovich Kovtsur – PhD, Docent, St. Petersburg State University of Telecommunications named after Professor M.A. Bonch-Bruevich. E-mail: maxkovzur@mail.ru.

Daniil Igorevich Kirillov – foreman, St. Petersburg State University of Telecommunications named after Professor M.A. Bonch-Bruevich. E-mail: daniil.kirillov@gmail.com.

Anastasia Valer'evna Mikhailova – Student, St. Petersburg State University of Telecommunications named after Professor M.A. Bonch-Bruevich. E-mail: ova.007@yandex.ru.

Pavel Andreevich Potemkin – Student, St. Petersburg State University of Telecommunications named after Professor M.A. Bonch-Bruevich. E-mail: potiomkinpa98@gmail.com.

Для цитирования: Ковцур М.М., Кириллов Д.И., Михайлова А.В., Потемкин П.А. Разработка методики внедрения машинного обучения для повышения информационной безопасности web-приложения // Техника средств связи. 2020. № 4 (152). С. 74-86.

For citation: Kovtsur M.M., Kirillov D.I., Mikhailova A.V., Potemkin P.A. Development of a machine learning implementation methodology to increase the information security of a web application. Means of communication equipment. 2020. No 4 (152). Pp. 74-86 (in Russian).

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 658.711

**Неконкурентные закупки радиоэлектронного оборудования предприятиями
госкорпорации «Ростех»**

Филиппов В.П.

***Аннотация:** В статье рассмотрены правила применения конкурентных и неконкурентных процедур закупки радиоэлектронного оборудования при формировании закупочной документации в рамках Федерального закона 223-ФЗ. Указаны нормативные документы, которые заказчик обязан соблюдать при формировании закупочной документации, а также использовать перечисленные в статье основания для проведения неконкурентной закупки. Проанализированы недостатки неконкурентных закупок. Разработаны рекомендации по проведению закупок с использованием агрегатора торговли «Березка». Предложены варианты закупок радиоэлектронного оборудования для разработки и выпуска продукции гражданского назначения.*

***Ключевые слова:** закупочная процедура; документация о закупке; радиоэлектронное оборудование; технические требования; оперативность закупки; состязательные переговоры.*

Введение

Органы государственной власти Российской Федерации придают большое значение развитию производства отечественного радиоэлектронного оборудования. На государственном уровне принимаются всесторонние меры поддержки и стимулирования отечественного производства. Процесс закупки радиоэлектронного оборудования, как один из элементов бизнес-процесса производства, находится в зоне пристального внимания государства.

Нормативная база в сфере закупочной деятельности постоянно совершенствуется. В настоящее время деятельность по проведению закупок регулируется Гражданским Кодексом Российской Федерации, Федеральным законом от 18.07.2011 г. № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» (далее - Закон 223-ФЗ) и другими законами. При проведении закупок необходимо соблюдать требования Постановлений Правительства Российской Федерации: от 30 апреля 2020 г. № 616 «Об установлении запрета на допуск промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, для целей осуществления закупок для государственных и муниципальных нужд, а также промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, работ (услуг), выполняемых (оказываемых) иностранными лицами, для целей осуществления закупок для нужд обороны страны и безопасности государства», от 30 апреля 2020 г. № 617 «Об ограничениях допуска отдельных видов промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд», от 10 июля 2019 г. № 878 «О мерах стимулирования производства радиоэлектронной продукции на территории Российской Федерации при осуществлении закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд...» и др.

На государственном уровне создан и ведется Единый реестр российской радиоэлектронной продукции. С целью стимулирования производства отечественного радиоэлектронного оборудования, Правительство Российской Федерации ввело особый порядок конкурентных процедур, предметом которых является закупка радиоэлектронного оборудования. Этот особый порядок создает препятствие для закупки импортного радиоэлектронного оборудования и стимулирует закупки отечественного радиоэлектронного оборудования. Кроме того, для отечественного радиоэлектронного оборудования, в некоторых случаях устанавливаются ценовые преференции при проведении конкурентных процедур.

Способы закупок радиоэлектронного оборудования

Радиоэлектронное оборудование может закупаться одним из двух способов – конкурентным и неконкурентным. Эти способы закупки установлены частью 2 статьи 3 Закона 223-ФЗ и разделом 6.1 «Положения..».

Конкурентной закупкой, согласно части 3 статьи 3 Закона 223-ФЗ, является закупка, осуществляемая с соблюдением одновременно следующих трёх условий:

1) информация о конкурентной закупке сообщается заказчиком одним из следующих способов:

а) путем размещения в единой информационной системе (ЕИС) извещения об осуществлении конкурентной закупки, доступного неограниченному кругу лиц, с приложением документации о конкурентной закупке;

б) посредством направления приглашений принять участие в закрытой конкурентной закупке в случаях, которые предусмотрены статьей 3.5 Закона 223-ФЗ;

2) обеспечивается конкуренция между участниками конкурентной закупки за право заключить договор с заказчиком;

3) описание предмета конкурентной закупки осуществляется с соблюдением требований части 6.1 статьи 3 Закона 223-ФЗ.

Неконкурентной является закупка, условия осуществления которой не соответствуют условиям, предусмотренным частью 3 статьи 3 Закона 223-ФЗ. Способы неконкурентной закупки установлены в «Положении о закупке...».

Анализ объема закупок конкурентным и неконкурентным способами показывает, что до 90 % радиоэлектронного оборудования закупается неконкурентным способом. Такая весомая доля неконкурентных закупок может быть объяснена следующими обстоятельствами:

1). Для нашего предприятия характерно тиражирование ранее разработанных комплексов связи. В конструкторской документации заданы все характеристики устанавливаемого радиоэлектронного оборудования, входящие в эти комплексы связи. Поставщики этого радиоэлектронного оборудования указаны в конструкторской документации, поэтому закупка такого оборудования неконкурентным способом у конкретного поставщика уже predetermined на этапе разработки и согласования конструкторской документации.

2). Для предприятий, входящих в госкорпорацию «Ростех», характерно использование радиоэлектронного оборудования и электронной компонентной базы (ЭКБ), имеющих все необходимые сертификаты и разрешительные документы. Легально, с оформлением всех документов, каждый вид радиоэлектронного оборудования производит только одно предприятие, как правило разработчик этого оборудования. Таким образом, легальный конкурентный рынок конкретного вида радиоэлектронного оборудования, как правило, отсутствует, что обуславливает необходимость проведения неконкурентных закупок.

Преимущества и недостатки неконкурентного способа закупки радиоэлектронного оборудования

Если сравнивать между собой конкурентные и неконкурентные способы закупок, то можно установить, какой способ закупки для заказчика является предпочтительным в той или иной производственной ситуации. Рассмотрим различия указанных способов закупки.

1) С точки зрения оперативности проведения закупки, неконкурентный способ имеет, на первый взгляд, преимущество. Если за точку отсчета принять дату оформления протокола закупочной комиссии (дату принятия решения о закупке), то для проведения самой процедуры конкурентной закупки до даты подписания договора двумя сторонами требуется от 22 до 47 дней. Этот срок складывается из срока размещения документации о закупке на электронной торговой площадке и на ЕИС (от 5 до 15 дней, в зависимости от процедуры),

срока рассмотрения заявок и подведения итогов торгов (от 6 до 10 дней), и срока подписания договора (не менее 10, и не более 20 дней) [1]. То есть, договор по конкурентной процедуре может быть заключен только через 22 дня после принятия решения о закупке. Сроки проведения всех действий по конкурентной процедуре установлены в тех или иных нормативных документах и не могут быть нарушены. Несоблюдение сроков конкурентной процедуры является административным нарушением [1].

Договор по неконкурентной процедуре может быть заключен более оперативно. Потребуется только согласование протокола закупочной комиссии с проверяющим лицом из ООО «РТ-Комплекстимпекс» (не более 3 рабочих дней) и публикация протокола на ЕИС – 1 рабочий день. На практике, минимальный срок заключения договора при неконкурентной закупке – 2 дня.

Как правило, срок заключения договора при неконкурентной закупке значительно больше указанного минимального срока. В связи с тем, что на данную процедуру не установлены нормативные сроки проведения, решение и согласование всех разногласий по договору, как правило, происходит на этапе подписания договора, что существенно увеличивает сроки подписания. Нередко подписание договора растягивается на несколько месяцев, имеются случаи подписания договора в течении 14-19 месяцев. Таким образом, срок подписания договора по неконкурентной закупке составляет от 2 дней до 19 месяцев и не является регламентированным.

2) С точки зрения соблюдения интересов заказчика, конкурентная закупка является более предпочтительной. Заказчик заранее устанавливает свои требования, условия и интересы в проекте договора и иной документации о закупке. Участник торгов либо соглашается с условиями и участвует в торгах, либо не соглашается и не участвует. В ходе конкурентной процедуры, требования и условия остаются неизменными.

При неконкурентной закупке, требования, условия и интересы заказчика подвергаются ревизии со стороны контрагента. Как правило, в результате переговоров и согласований, условия для заказчика ухудшаются, а для контрагента – улучшаются. Заказчик вынужден идти на ухудшение своих условий, т.к. контрагент, пользуясь своей исключительностью, диктует заказчику свои требования.

3) С точки зрения экономии финансовых ресурсов, конкурентная закупка является, на первый взгляд, предпочтительной. На основании ценовых предложений потенциальных поставщиков и по результатам анализа рынка, заказчик формирует начальную максимальную цену (НМЦ) договора. В ходе торгов, участники предлагают свою цену, которая должна быть меньше НМЦ. В теории, участников торгов много, все они хотят продать свой товар, и с этой целью идут на снижение цены. Также, в теории некоторые участники торгов готовы продать товар ниже закупочной цены, чтобы освободить свои склады. В этом случае, для заказчика разница между НМЦ и наиболее выгодной для заказчика ценой договора, предложенной участником, является экономической выгодой торгов. В теории получается, что есть вероятность купить товар дешевле у поставщика, чем у производителя.

На практике, при закупках радиоэлектронного оборудования, результаты получаются значительно более скромными. Это обусловлено тем, что закупаемое радиоэлектронное оборудование является специфическим и производят его одно-два предприятия. Поэтому, рынок является неразвитым [2]. Как правило, в конкурентных закупках радиоэлектронного оборудования участвует 1 поставщик, редко – 2 поставщика. Поставщик владеет информацией по прошлым закупкам, по состоянию рынка, по обстоятельствам закупки. Исходя из этой информации, он не снижает свою цену в ходе торговой процедуры. Договор заключается по НМЦ. В результате торгов, заказчик не имеет экономической выгоды от торгов, а поставщик «монетизирует» свое исключительное положение на рынке.

Неконкурентная закупка радиоэлектронного оборудования имеет другие особенности ценообразования. Цена договора, в этом случае, определяется с учетом заключения военного представительства, аккредитованного при поставщике. Это обстоятельство добавляет элемент объективности в формирование цены.

В результате такого положения дел, в настоящее время, конкурентные закупки, которые теоретически должны приносить заказчику экономию финансовых ресурсов, фактически ведут к их перерасходу. А неконкурентные процедуры, которые в теории должны грозить заказчику перерасходом финансовых ресурсов из-за завышенных запросов поставщика-монополиста, фактически ведут к экономии ресурсов.

4) С точки зрения описания предмета закупки, конкурентные и неконкурентные закупки имеют существенные различия. Формирование описания предмета закупки и формулирование технических требований к закупаемой продукции при конкурентной закупке имеют особую значимость, т. к. могут являться предметом всеобщего публичного рассмотрения. При неконкурентной закупке вопросы описания предмета закупки решаются значительно проще.

В документации по неконкурентным закупкам можно указывать необходимые заказчику товарные знаки, знаки обслуживания, патенты, полезные модели, промышленные образцы, без слов «или эквивалент». Это существенно упрощает закупку радиоэлектронного оборудования необходимой торговой марки.

5) С точки зрения информационной открытости, закупки также различаются. Конкурентная закупка предполагает размещение всей документации о закупке в ЕИС и на электронной торговой площадке для ознакомления неограниченному кругу лиц. Размещаются все характеристики закупаемого оборудования, проект договора, основания для проведения закупки. Такая открытость имеет негативную сторону. Любой наблюдатель, в том числе и недоброжелатель, по характеру, параметрам, количеству закупаемого радиоэлектронного оборудования может установить производственные возможности заказчика, характер производимой им продукции, определить связь продукции с тем или иным образцом вооружения. Представляется, что такая информация не должна являться общедоступной.

Неконкурентная закупка радиоэлектронного оборудования в отношении раскрытия информации о заказчике более предпочтительна. При такой закупке, в ЕИС размещается только информация в виде плана закупок, в которой характеристики закупаемого радиоэлектронного оборудования, как правило, не раскрываются.

Основания для проведения неконкурентных закупок радиоэлектронного оборудования

Не смотря на отрицательное отношение контрольных органов к проведению закупок неконкурентным способом, количество оснований для проведения неконкурентных закупок в «Положении ...» с каждым годом увеличивается. Если в 2016 году таких оснований было 41, то по состоянию на ноябрь 2020 года их число равно 57 (правда 2 из них уже утратили силу). Не все эти основания, указанные в пункте 6.6.2 «Положения...», используются при проведении закупок радиоэлектронного оборудования, поэтому есть смысл рассмотреть только наиболее востребованные из них.

Согласно пункта 6.6.2 (7), заключается договор между заказчиком, являющимся исполнителем по государственному контракту или по договору с третьим лицом, и привлекаемым для исполнения обязательств по нему субподрядчиком (соисполнителем), который установлен соответствующим государственным контрактом или договором с третьим лицом. Данное основание используется достаточно широко.

Согласно пункта 6.6.2 (10), заключается договор в целях обеспечения производства российских вооружения и военной техники в рамках ГОЗ с единственным производителем

продукции, определенным Межотраслевым ограничительным перечнем, утвержденным Министерством обороны Российской Федерации, и/или Перечнем электронной компонентной базы, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники, разработанным Министерством промышленности и торговли Российской Федерации. Данное основание широко применяется, особенно при закупках элементов электронной компонентной базы.

Согласно пункта 6.6.2 (11), заключается договор с разработчиком (производителем) продукции, определенным в конструкторской документации на производимое или ремонтируемое заказчиком изделие. Данное основание широко применяется.

Согласно пункта 6.6.2 (12), заключается договор с организацией Корпорации на производство, обслуживание и ремонт составных частей изделия, входящих в комплектацию изделия согласно конструкторской документации, или заключается договор между организациями Корпорации на послепродажное (сервисное) обслуживание изделия, изготовленного организацией Корпорации (внутренняя производственная кооперация).

Согласно пункта 6.6.2 (39), заключается договор для приобретения продукции, в том числе, с использованием ЕАТ, НМЦ по которой не превышает 100 000 рублей с НДС, при условии, что совокупный годовой объем договоров, заключенных заказчиком по данному основанию, не превышает 10 % (десяти процентов) от общего объема договоров, заключенных заказчиком в течение предыдущего отчетного периода (календарного года).

Согласно пункта 6.6.2 (51), заключается договор с организацией Корпорации, закупочная деятельность которой регламентируется Положением. Данное основание допускает очень широкое применение, т. к. на стороны закупки не накладываются никакие ограничения, кроме одного – вхождение в госкорпорацию «Ростех». Для предотвращения чрезмерно широкого применения, все закупки по данному основанию подлежат согласованию с головной организацией холдинга.

Согласно пункта 6.6.2 (54), заключается договор на поставку товаров (выполнение работ, оказание услуг), необходимых заказчику для производства продукции гражданского назначения (ПГН), реализация которой планируется по итогам участия заказчика в регламентированной процедуре закупки третьего лица.

Классификация неконкурентных закупок

До декабря 2019 г. все неконкурентные закупки классифицировались как закупки у единственного поставщика. С декабря 2019 г. госкорпорация «Ростех» ввела новые виды неконкурентных закупок и одновременно ввела классификацию неконкурентных закупок.

Соответствие между классами неконкурентных закупок и основаниями для их проведения приведены в табл. 1.

Под безальтернативной закупкой у единственного поставщика понимается неконкурентный способ закупки, при котором заключение договора с конкретным поставщиком вызвано тем, что у заказчика отсутствует какая-либо разумная альтернатива в выборе поставщика.

Под внутригрупповой закупкой у единственного поставщика понимается неконкурентный способ закупки, при котором заключение договора с конкретным поставщиком-организацией, входящей в структуру Корпорации, вызвано наличием у такого поставщика внутренней компетенции, позволяющей удовлетворить потребности заказчика в поставке продукции.

Под срочной закупкой у единственного поставщика понимается неконкурентный способ закупки, при котором заключение договора с конкретным поставщиком вызвано тем, что у заказчика в силу объективных причин отсутствует время на проведение конкурентной закупки в случаях, предусмотренных Положением.

Под закупкой малого объема у единственного поставщика понимается неконкурентный способ закупки, при котором возможность отказа от конкурентной закупки обусловлена низкой ценой заключаемого договора.

Под закупкой у единственного поставщика понимается неконкурентный способ закупки, при котором заключение договора с конкретным поставщиком в случаях, предусмотренных Положением, вызвано спецификой закупаемой продукции, особенностями рынка, на котором обращается закупаемая продукция или конкретной закупочной ситуацией.

Таблица 1 – Неконкурентные способы закупки

Наименование класса (способа) неконкурентной закупки	Основания для закупки согласно ЕПоз ГК «Ростех»	Использование для закупки радиоэлектронного оборудования	Примечание
Безальтернативная закупка у единственного поставщика	6.6.2(10), 6.6.2(11)	Используется	Поставщик указан в нормативном документе или в КД
	6.6.2(1) - 6.6.2(8), 6.6.2(13), 6.6.2(15) - 6.6.2(17), 6.6.2(19), 6.6.2(22), 6.6.2(29), 6.6.2(32), 6.6.2(40), 6.6.2(48), 6.6.2(57)	Не используется	
Внутригрупповая закупка у единственного поставщика	6.6.2(12)	Используется	Применяется только для закупок в рамках ГОЗ
	6.6.2(14), 6.6.2(21), 6.6.2(27), 6.6.2(28), 6.6.2(33), 6.6.2(36), 6.6.2(45) - 6.6.2(47), 6.6.2(50), 6.6.2(51), 6.6.2(56)	Не используется	
Срочная закупка у единственного поставщика	6.6.2(9), 6.6.2(24), 6.6.2(38), 6.6.2(49)	Используется	Особые закупочные процедуры
Закупка малого объема у единственного поставщика	6.6.2(39)	Используется	Закупка с НМЦ менее 100 тыс. руб.
Закупка у единственного поставщика	6.6.2(18), 6.6.2(20), 6.6.2(23), 6.6.2(25), 6.6.2(26), 6.6.2(30), 6.6.2(34), 6.6.2(35), 6.6.2(37), 6.6.2(42) - 6.6.2(44), 6.6.2(52) - 6.6.2(55)	Не используется	
Упрощенная закупка		Используется	Проводится только через ЕАТ «Березка»
Состязательные переговоры		Используется	Только для гражданской продукции

Упрощенная закупка радиоэлектронного оборудования

Кроме закупок у единственного поставщика по основаниям, установленным пунктом 6.6.2 «Положения...», в 2019 г. введены два новых способа неконкурентных закупок: упрощенная закупка и состязательные переговоры. Указанные способы закупки являются новыми для предприятий госкорпорации «Ростех», и поэтому применяются пока достаточно локально.

Под упрощенной закупкой понимается неконкурентный способ закупки, который проводится с использованием функционала единого агрегатора торговли (ЕАТ) в соответствии с регламентом ЕАТ при соблюдении совокупности следующих условий:

размер НМЦ превышает 100 000 рублей и не превышает 1 000 000 (один миллион) рублей с НДС;

поставщик определяется по минимальной цене, полученной по результатам проведения закупочной сессии на ЕАТ.

По сути дела, ЕАТ является виртуальным электронным магазином, на площадке которого потенциальные поставщики размещают информацию о своем товаре, а заказчик, изучая информацию о товарах, выбирает устраивающий его товар и заключает с поставщиком договор закупки. Такой процесс выбора поставщика называется закупочной сессией на ЕАТ. Порядок проведения сессии устанавливается функционалом ЕАТ.

Существенным преимуществом упрощенной закупки является то, что заказчик не занимается формированием, согласованием начальной максимальной цены договора и формированием технических требований к продукции. В этом аспекте, упрощенная закупка приравнена к закупке малого объема у единственного поставщика. Такой правовой статус упрощенной закупки позволяет заказчику резко сократить трудозатраты на проведение закупки.

Вторым существенным преимуществом упрощенной закупки является возможность для заказчика закупить оборудование необходимых ему торговых марок (торговых знаков), так как такая закупка относится к категории неконкурентных закупок и на нее не распространяются указанные выше запреты, установленные Законом 223-ФЗ.

Проблемой закупки радиоэлектронного оборудования через ЕАТ является то, что поставщик не размещает полную информацию о технических характеристиках своего товара, в связи с чем заказчику затруднительно выбрать товар под свои потребности. Кроме того, изготовители радиоэлектронного оборудования, в силу недостаточности знаний по функционированию ЕАТ «Березка», не в полной мере используют предоставленные дополнительные возможности для реализации своей продукции.

Упрощенная форма закупки предоставляет заказчику новые возможности – использовать преимущества неконкурентной закупки без ограничений, устанавливаемых пунктом 6.6.2 «Положения...».

Состязательные переговоры как способ закупки радиоэлектронного оборудования

Ещё одним новым неконкурентным способом закупки, введённым для предприятий госкорпорации «Ростех» в 2019 г., являются состязательные переговоры.

Под состязательными переговорами понимается неконкурентный способ закупки, при проведении которого заказчик, используя механизмы состязательности между участниками рынка, определяет предложение, наилучшим образом отвечающее требованиям заказчика, и по результатам которого у заказчика возникает право на заключение договора с поставщиком.

Состязательные переговоры проводятся, при соблюдении, в совокупности, следующих условий:

закупается товар, необходимый для разработки образца нового изделия, в рамках, выполняемых непосредственно заказчиком НИР, ОКР и технологических работ;

разработка нового изделия осуществляется для дальнейшего выпуска продукции гражданского назначения (ПГН);

размер НМЦ не превышает 50 000 000 (пятьдесят миллионов) рублей с НДС.

Данный способ закупки, применительно к радиоэлектронному оборудованию, имеет ряд преимуществ. Сохраняется конфиденциальность как направления интересов заказчика, так и характеристик закупаемого оборудования. Остаются недоступными для всеобщего пользования количественные и финансовые показатели закупки, круг потенциальных поставщиков, принимающих участие в таких переговорах.

В настоящее время, механизм проведения состязательных переговоров в недостаточной степени регламентирован. Нет четкого указания, сколько должно быть участников рынка, с которыми необходимо провести эти переговоры, не уточнено, что такое механизм состязательности и как его правильно применять. Не установлено лицо, которое имеет право проводить состязательные переговоры от имени заказчика и принимать решение о заключении договора по их результатам.

Такая недостаточная регламентация открывает широкую перспективу перед предприятиями госкорпорации «Ростех» для установления новых производственных связей с различными бизнес-структурами.

Выводы

При закупках радиоэлектронного оборудования заказчик должен определиться с выбором способа закупки. Неконкурентные способы закупки позволяют предприятиям госкорпорации «Ростех» более гибко проводить закупки необходимого радиоэлектронного оборудования. При проведении неконкурентной закупки необходимо использовать преимущества этого способа (упрощенное описание технических требований к продукции, относительная закрытость предмета закупки, возможность поручать изготавливать оборудование на разработанной заказчиком документации, возможность регулирования вопросов ценообразования и финансирования). В тоже время, необходимо предусматривать меры противодействия к отрицательным моментам такого способа закупки (увеличение сроков согласования условий договора, возможность диктата со стороны поставщика, введение механизма контроля за ценообразованием по таким закупкам).

Литература

1. «Единое положение о закупке Государственной корпорации «Ростех»». [Электронный ресурс]. 01.12.2020. – URL: www.rt-ci.ru (дата обращения 01.12.2020).
2. Дашков С.Б. Изменение подходов к указанию товарных знаков с 1 июля 2018 г. в связи с изменениями Закона 223-ФЗ/ Доклад на 3 Стратегической сессии ГК «Ростех». [Электронный ресурс]. 01.07.2019. – URL: www.rt-ci.ru (дата обращения 01.07.2019).

References

1. "Unified regulation on the purchase of the State Corporation Rostec." [Electronic Resource]. 01.12.2020. - URL: www.rt-ci.ru (case date 01.12.2020) (in Russian).
2. Dashkov S.B. Change of approaches to trademark designation from July 1, 2018 in connection with the amendments to the Law 223-ФЗ/ Report at the 3rd Strategic Session of Rostec Group of Companies. [Electronic Resource]. 01.07.2019. - URL: www.rt-ci.ru (case date 01.07.2019) (in Russian).

Статья поступила 28 декабря 2020 г.

Информация об авторах

Филиппов Владимир Петрович – Кандидат технических наук. Начальник отдела ПАО «Интелтех», председатель закупочной комиссии ПАО «Интелтех». Тел.: +7-905-213-63-15. E-mail: vphilippov@yandex.ru. Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д.8.

Non-competitive purchases of electronic equipment by Rostec state corporation enterprises

V.P. Filippov

Annotation: *The article discusses the rules for the application of competitive and non-competitive procedures for the procurement of radio electronic equipment in the formation of procurement documentation within the framework of Federal Law 223-FZ. Regulatory documents are indicated that the customer is obliged to observe when forming procurement documentation, as well as to use the grounds listed in the article for conducting a non-competitive procurement. Disadvantages of non-competitive purchases are analyzed. Recommendations have been developed for conducting purchases using the «Beryozka» trade aggregator. Variants of purchasing radio electronic equipment for the development and production of civilian products are proposed.*

Keywords: *procurement procedure, procurement documentation, radio electronic equipment, technical requirements, trademark, procurement efficiency, adversarial negotiations.*

Information about Authors

Filippov Vladimir Petrovich – Candidate of technical sciences. Head of Department, chairing of the procurement commission of the PJSC “Inteltech”. Tel.: +7-905-213-63-15. E-mail: vphilippov@yandex.ru. Address: 197342, St. Petersburg, Kantemirovskaya St., d.8.

Для цитирования: Филиппов В.П. Неконкурентные закупки радиоэлектронного оборудования предприятиями госкорпорации «Ростех» // Техника средств связи. 2020. № 4 (152). С. 87-95.

For citation: Filippov V.P. Non-competitive purchases of electronic equipment by Rostec state corporation enterprises. Means of communication equipment. 2020. No 4 (152). Pp. 87-95 (in Russian).

Для авторов

Требования к оформлению статей, представляемых в редакцию

1. Статья представляется в формате **Word 97/2000/XP** с расширением **doc**.
2. Рекомендуемый объем статьи – **до 10 страниц**. Публикацию статей большего объема необходимо согласовать с редакцией в отдельном порядке, с пояснением причины, по которым увеличен рекомендуемый объем.
3. Размер страницы – А4. Все поля (верхнее, нижнее, правое и левое) по 2 см.
4. Текст статьи набирается шрифтом Times New Roman, размер 12 pt, междустрочный интервал – 1.0, абзацный отступ 1,25 см, без отступов между абзацами. В основном тексте допускается курсив. Латинские буквы для обозначений набираются курсивом, греческие, русские буквы и цифровые индексы – прямым шрифтом.
5. В начале статьи индекс УДК, выровнен по левому краю. После УДК – пропуск строки.
6. Название статьи выполняется полужирным шрифтом и выравнивается по центру страницы без абзацного отступа. Оно должно точно и однозначно характеризовать содержание статьи. Не рекомендуется использовать в названии сокращения, кроме общепринятых в предметной области. Название предоставляется в редакцию на русском и английском языках. Точка после заглавия не ставится. После названия статьи следует пропуск строки.
7. Инициалы и Фамилии авторов указываются через запятую в соответствии личному вкладу в написание статьи, выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. После фамилий авторов следует пропуск строки.
8. Аннотация выполняется на русском и английском языке, размер шрифта 11 pt, курсив, абзацный отступ 1,25 см. Заголовки элементов аннотации выделяются жирным шрифтом.
9. Ключевые слова оформляются так же, как и аннотация, и должны содержать основные понятия и термины, употребляемые в статье. Ключевые слова формулируются так, чтобы при семантическом поиске по ним можно было найти данную статью заинтересованным ученым. После абзаца с ключевыми словами – пропуск строки.
10. Для структуризации статьи рекомендуется основной текст разделить по частям с условными подзаголовками «Введение», «Постановка задачи», «Результаты моделирования» и пр., «Выводы», выполняемые полужирным шрифтом с выравниванием по центру без абзацного отступа. Перед подзаголовками пропуск строки.
11. Таблицы должны занимать всю ширину текстового поля. В случае малого размера таблиц, допускаются таблицы шириной меньшей, чем ширина текстового поля. Таблицы выравниваются по центру листа без абзацного отступа. Текст внутри таблиц выполняется шрифтом от 10pt до 12pt, в зависимости от степени информационной загрузки. Таблицы нумеруются по порядку упоминания, а их названия оформляются в виде «Таблица 1 – Название таблицы» и выравниваются по центру листа без абзацного отступа. Если таблица выполняется на нескольких страницах, необходимо выставлять признак заголовка для первой строки с наименованиями столбцов, либо дублировать первую строку с наименованиями на следующей странице. По тексту статьи таблица обозначается, например, как табл. 1.
12. Рисунки выполняются в виде внедренных объектов векторной графики, выполненных в формате MS Visio (**vsd**) или в форматах метафайлов Windows (**wmf** или **emf**). В случае невозможности представления рисунков в векторном виде, рисунки выполняются в растровых форматах **jpg** или **png**. Нумерация рисунков последовательная по мере упоминания в статье в виде «Рис. 1. Название рисунка». Номер и название рисунка выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. До рисунка и после его названия вставляется пропуск строки. Допускается выполнение рисунков, расположенных параллельно друг другу на одном горизонтальном уровне, при этом рисунки и их названия помещаются в таблицу с прозрачными границами. По тексту статьи рисунки обозначаются, например, как рис. 1.
13. Формулы выполняются в редакторе формул MathType либо Microsoft Equation 3.0. Формулы могут быть набраны в основном тексте со вставкой специальных математических символов через меню «вставка-символ». **Запрещается набирать формулы во встроенном редакторе формул Microsoft Office 2007 и выше**. Основной шрифт формул, набираемых в MathType и Microsoft Equation 3.0, 12 pt. Формулы выравниваются по центру без абзацного отступа. При необходимости переноса формул используйте общепринятую математическую запись переноса. Формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи, должны быть пронумерованы. Номер формулы проставляют с правого края страницы. Не следует вставлять пропуски строки до и после формул.
14. Список используемых источников оформляется следующим образом – «Литература», который выполняется полужирным шрифтом, по центру страницы без абзацного отступа. Нумерация ссылок определяется порядком их упоминания в статье. Список литературы: от 15 до 40 наименований, из них самоцитирований должно быть не более 20%. В числе источников желательно не менее 50% иностранных (для статей на английском языке – 15% российских). Состав источников должен быть актуальным и, по возможности, содержать не менее 8 статей из научных журналов не старше 10 лет, из них 4 – не старше 3 лет. Ссылки должны быть только на статьи, патенты, книги и статьи из сборников трудов. В списках литературы не размещать ГОСТы, рекомендации, диссертации, авторефераты и другую нормативную и непериодическую документацию. Эти данные можно указывать в теле статьи в скобках или как постраничные сноски. Список литературы оформляется по ГОСТ 7.052008.
15. После подзаголовка «References» литература дублируется на английском языке. После списка литературы и References следует пропуск строки.
16. После списка References указывается дата первого представления статьи в редакцию. Данный абзац выделяется полужирным шрифтом, выравнивание по правому краю страницы.
17. В конце статьи указывается информация о каждом соавторе: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученое звание, должность и полное наименование организации, телефон и e-mail.
18. Статья завершается текстовым блоком, дублирующим название статьи, фамилии и инициалы авторов, аннотацию статьи и ключевые слова на английском языке. Элементы данного блока оформляются так же, как соответствующие элементы на русском языке в начале статьи.

СПИСОК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ» В 2020 ГОДУ

	№№:
<u>СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ</u>	
Николашин Ю.Л., Винокур М.В. – Системы управления в корабельных комплексах связи. Этапы развития и пути совершенствования.	1 (149)
Абрамкин Р.В., Бартош В.В., Веселовский А.П., Винограденко А.М. – Интеллектуальные системы контроля технического состояния источников автономного электроснабжения полевых объектов связи.	1 (149)
Тележкин В.Ф., Рагозин А.Н., Саидов Б.Б. – Построение многокомпонентного прогноза сигналов в АСУ с использованием моделей авторегрессии-скользящего среднего.	4 (152)
Билятдинов К.З., Красов А.В., Меньяло В.В. – Модель устойчивости автоматизированной системы управления.	4 (152)
<u>ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ</u>	
Солозобов С.А., Шевченко В.В., Шукин А.Н. – Децентрализованное использование частотного ресурса декаметрового диапазона волн в сложной помеховой обстановке.	1 (149)
Моисеев А.А., Киселев А.А., Сударев А.П. – К вопросу о строительном расчете сверхдлинноволновых радиолоний передачи.	1 (149)
Мирошников В.И., Кулешов И.А., Талагаев В.И. – Экспертная система оценки помехозащищенности декаметровых радиоканалов Военно-Морского Флота.	2 (150)
Гук И.И. – Оценка фазовой компенсации нелинейных искажений на выходе реального усилителя мощности.	2 (150)
Солозобов С.А., Шевченко В.В., Шукин А.Н. – Статистический выбор рабочих частот в декаметровом диапазоне волн для различных видов радиосигналов.	2 (150)
Хвостунов Ю.С. – Реализации сетевой синхронизации в автоматизированной сети радиосвязи декаметрового диапазона.	2 (150)
Шаптала В.С., Солнцев Д.В. – Модель фрагмента сети цифровой радиосвязи.	2 (150)
Шаптала В.С., Машкин А.И., Соколов В.А. – Использование сигнально-кодовой конструкции аппаратуры передачи данных для сравнения моделей радиоканала.	3 (151)
Солозобов С.А., Шевченко В.В., Шукин А.Н. – Формирование спектрально-эффективного сигнала.	3 (151)
Дорогов А.Ю., Подранюк Е.П. – Имитационная модель и результаты моделирования протокола маршрутизации O2M для низкоскоростных мобильных радиосетей.	4 (152)
Машкин А.И., Машкин И.В., Шаптала В.С. – Повышение помехоустойчивости OFDM модема в канале с замираниями.	4 (152)
Дяченко А.Н. – Построение территориально-распределённого испытательного комплекса для дистанционного проведения трассовых испытаний.	4 (152)
<u>СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ</u>	
Козлов К.В., Кулешов И.А., Сенчуков М.В., Козлова А.К. – Разработка требований к комплексу авиационной связи надводного авианесущего корабля с групповым базированием воздушных судов (летательных аппаратов).	1 (149)
Меженев А.В. – Модель контроля технического состояния средств связи и радиотехнического обеспечения.	1 (149)
Николашин Ю.Л., Козлов К.В., Кулешов И.А. – Основные проблемы построения системы управления войсками, оружием морской авиации и войск противовоздушной обороны флота и предложения по их решению.	2 (150)
Моисеев А.А., Киселев А.А. – Применение мобильных аппаратных связей для обмена данными с морскими объектами.	2 (150)
Абрамкин Р.В., Веселовский А.П., Винограденко А.М., Косарева Л.И. – Интеллектуализация систем автономного электроснабжения комплексов связи специального назначения.	2 (150)
Панин Р.С., Путилин А.Н., Хвостунов Ю.С. – Использование частотного ресурса системой декаметровой связи в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты.	3 (151)
Курнос В.И., Лукин К.И. – Особенности построения рациональной структуры транспортной сети ведомственной телекоммуникационной системы.	3 (151)
Егоров А.А. – Протоколы O2П и O2M для переноса IP-трафика в низкоскоростных сетях с высоким коэффициентом ошибок.	3 (151)
Абрамкин Р.В., Веселовский А.П., Винограденко А.М., Крачков А.А. – Импульсное регулирование в преобразователях постоянного тока системы автономного электроснабжения комплексов связи.	3 (151)
Курнос В.И., Лукин К.И. – Подход к формированию эксплуатационных требований к элементам сетевых служб системы управления связью в ведомственной телекоммуникационной системе.	4 (152)
Козлов К.В., Кулешов И.А., Сенчуков М.В., Козлова А.К. – Об использовании моделей пространственно-информационных структур при разработке систем связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления специального назначения.	4 (152)
Аллакин В.В., Голунов М.В. – Анализ научно-методического аппарата удалённого мониторинга технического состояния информационно-телекоммуникационных сетей и систем.	4 (152)
<u>ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ</u>	
Мамончикова А.С. – Анализ известных работ исследования динамического многостороннего информационного конфликта.	1 (149)
Миронов А.А., Салюк Д.В. – Основные проблемы обеспечения информационной безопасности в ведомственных информационно-вычислительных сетях в условиях «цифровизации» предоставления услуг пользователям сетей.	3 (151)
Аллакин В.В., Будко Н.П. – Идентификация состояния узлов информационно-телекоммуникационных сетей общего пользования подсистемой мониторинга информационной безопасности.	3 (151)
Ковцур М.М., Кириллов Д.И., Михайлова А.В., Потемкин П.А. – Разработка методики внедрения машинного обучения для повышения информационной безопасности web-приложения.	4 (152)
<u>ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ</u>	
Васильев Н.В., Довжиков С.Н. – Виртуальная машина исполнения и планирования блочно-структурированных бизнес-процессов.	1 (149)
Сиразетдинов Р.Р., Белоус Д.В. – Архитектура информационных систем.	3 (151)
<u>ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ</u>	
Михайлюк П.П., Малаева Е.А. – Проблема экологии в организации работ, связанных с нанесением гальванического покрытия на детали при изготовлении радиоэлектронной аппаратуры для морской группы исполнения.	1 (149)
Михайлюк П.П., Малаева Е.А. – Организация работ в условиях единичного производства печатных плат для государственного заказа в ВМФ.	2 (150)
Черный С.Г., Биденко С.И., Якушев Д.И. – Существование и достижимость консенсуса, как проблема обеспечения надёжности в распределённых геокибернетических платформах.	3 (151)
Севастьянов С.И. – Критерий размерности множеств альтернатив в экспертных оценках, проводимых методом парных сравнений.	3 (151)
Михайлюк П.П., Малаева Е.А. – Унификация базовых несущих конструкций II и III уровней в комплексах связи для ВМФ.	3 (151)
Филиппов В.П. – Неконкурентные закупки радиоэлектронного оборудования предприятиями госкорпорации «Ростех».	4 (152)
<u>ЭЛЕКТРОННЫЕ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ</u>	
Винограденко А.М., Федоренко В.В., Будко Н.П. – Моделирование эволюции области неопределенности контролируемых систем на основе интеллектуального подхода.	2 (150)