

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

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

**ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА:**

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

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

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

**ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**JOURNAL DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:**

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

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

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

**EDITORIAL COUNCIL MEMBERS:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**EDITORIAL BOARD MEMBERS:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Tsybmal V.A.** Branch of the Great Petr RVSН Military Academy (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 Military Sciences, Professor

**РЕДАКЦИЯ:**Верстка принт-макета: **Мамончикова А.С.**Дизайн обложки: **Шаутин Д.В.**Поддержка сетевой версии журнала: **Тюкинеева Л.В.**  
Секретарь редакции: **Михайлова Н.В.****АДРЕС  
РЕДАКЦИИ:**197342. Россия. г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, дом 8,  
Телефон: +7(812) 542-90-54; +7(812) 448-95-97; +7(812) 448-96-84  
Факс: +7(812) 542-18-49. E-mail: mce-journal@inteltech.ru.  
Официальный сайт: www.inteltech.ru; www.mce-journal.ru



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

*Периодичность выхода журнала 4 номера в год.*

*Публикация в журнале является научным печатным трудом.*

*Основное содержание издания представляют собой научные статьи и научные обзоры.*

*Информация предназначена для детей старше 12 лет.*

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

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

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

*Подписной индекс журнала «Техника средств связи» – 79656*

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

- Дмитриев В. Г., Куприянов А. И., Перунов Ю. М.  
Техногенные воздействия на среду распространения радиосигнала 2
- Акулов В. С., Мирошников В. И., Талагаев В. И., Угрик Л. Н.  
Прогнозирование излученной мощности для обеспечения связи на сверхдлинных волнах 13
- Кулешов И. А., Полуян А. М., Талагаев В. И.  
Методика оценки энергетических потерь декаметровых радиолоний в высоких широтах, вызванных авроральным поглощением 19

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- Ильмер Д. В., Помазунов С. А., Исламов А. И.  
Оценка зоны обслуживания системы NAVTEX в Восточно-Сибирском море 29
- Васильев Н. В., Довжиков С. Н., Компанец А. Н.  
Теоретико-категориальный метод контроля целостности информационных ресурсов 48

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

- Елизаров В. В., Парашук И. Б., Салюк Д. В.  
Анализ этапов и критериев выбора современных технологий искусственного интеллекта в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения 60

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

- Дементьев А. Н., Глушкин В. А.  
Качество оценивания двоичных случайных последовательностей в условиях пропусков в наблюдаемых данных 69
- Будко Н. П., Васильев Н. В., Груздев А. А.  
Сбор и обработка больших данных в системах мониторинга информационно-телекоммуникационных сетей средствами технологии Hadoop 78

### АНАЛИЗ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ СРЕДСТВ СВЯЗИ

- Никитин С. В., Лоборчук А. А.  
Программно-конфигурируемые сети как новый этап развития сетей передачи данных 89

## CONTENTS

### COMMUNICATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

- Dmitriev V. G., Kupriyanov A. I., Perunov Yu. M.  
Technogenic impacts on the medium of propagation of the radio signal 2
- Akulov V. S., Miroshnicov V. I., Talagaev V. I., Ugric L. N.  
Forecasting of the radiated power for ensuring communication on superlong waves 13
- Kuleshov I. A., Poluyan A. M., Talagaev V. I.  
Technique of assessment of power losses of decameter radio lines in the high latitudes caused by auroral absorption 19

### MODELING OF COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS

- Ilmer D. V., Pomazunov S. A., Islamov A. I.  
Assessment of the service area of the NAVTEX system in the East-Siberian Sea 29
- Vasiliev N. V., Dovzhikov S. N., Kompanec A. N.  
Category theory based method for monitoring the integrity of information resources 48

### INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS

- Elizarov V. V., Parashchuk I. B., Salyuk D. V.  
Analysis of the stages and criteria for the selection of modern artificial intelligence technologies in the interests of building and improving communication equipment and control automation of special purpose 60

### INFORMATION PROCESSES AND TECHNOLOGIES. INFORMATION COLLECTION, STORAGE AND PROCESSING

- Dementev A. N., Gluskin V. A.  
The quality of evaluation of binary random sequences in the conditions of omissions in the observed data 69
- Budko N. P., Vasiliev N. V., Gruzdev A. A.  
Collection and processing of big data in monitoring systems of information and telecommunication networks by means of Hadoop technology 78

### ANALYSIS OF NEW TECHNOLOGIES AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF COMMUNICATION EQUIPMENT

- Nikitin S. V., Loborchuk A. A.  
Software-configurable networks as a new stage in the development of data transmission networks 89

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

**СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ**

УДК 629.396.966

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-2-12

**Техногенные воздействия на среду распространения радиосигнала**

Дмитриев В. Г., Куприянов А. И., Перунов Ю. М.

***Аннотация.** Холодная плазма ионосферы, в основном влияющая на условия распространения радиоволн в околоземном пространстве, образуется вследствие ионизации нейтральных атомов и молекул атмосферных газов жестким солнечным и космическим излучением. Но современные технологии позволяют управлять параметрами ионосферы. Прежде всего – коэффициентом преломления. Для активного воздействия на ионосферу и целенаправленного изменения условий распространения радиосигналов в околоземном пространстве используются нагревные стенды – мощные передатчики с фазированными антенными системами. Энергия излучаемых электромагнитных полей резонансно поглощается ионосферой, повышая степень замагниченности магнитоактивной плазмы. В результате создаются условия для генерации сигналов очень низких частот, пригодных для организации связи с подземными и подводными объектами; обеспечение сверхдальней связи за счет использования специфических волноводов, образованных ионосферными слоями  $F_1$  и  $F_2$ ; создание локальных областей пространства с высокой ионизацией для деструктивного воздействия на космические объекты; формирование активных помех радиоэлектронным системам связи, передачи данных, радиолокации и радионавигации; генерации биологически активных сигналов. Использование нагревных стендов для управления состоянием ионосферы также открывает возможности и других как практических, так и научно-исследовательских применений.*

***Ключевые слова:** ионосфера, нагревные стенды, радиоэлектронная борьба, радиосигнал, системы связи*

Плазменная оболочка Земли – ионосфера – определяет многие условия взаимодействия систем, использующих для информационного взаимодействия электромагнитные поля [2]. В настоящее время функционирование таких систем происходит в условиях конфликта радиоэлектронных средств. Для обозначения конфликтного взаимодействия в среде функционирования радиосистем используется термин «Радиоэлектронная борьба» (РЭБ). Радиоэлектронная борьба постоянно совершенствует методы и расширяет возможности в информационном конфликтном взаимодействии с радиоэлектронными средствами противника. Одно из таких направлений деятельности – деструктивное воздействие на среду распространения радиосигналов в информационных радиоканалах. Именно свойства среды распространения радиоволн определяют основные характеристики информационных каналов. Такие характеристики, как поглощающие, рефракционные, поляризационные и рассеивающие (дисперсионные) свойства. В результате деструктивного воздействия на среду ухудшаются, вплоть до катастрофической деформации, основные показатели эффективности информационных систем. В особенности контрастно, такие ухудшения сказываются на широкополосных сигналах, все более широко применяемых современными информационными радиосистемами. В том числе и прежде всего, системами связи и передачи данных.

Деструктивные влияния на сигнальную среду предусматривают, прежде всего, высокоэнергетические воздействия на ионосферу (применение воздействий на тропосферные каналы, например, рассеянием дипольных отражателей и/или аэрозолей, здесь не рассматривается). Такое деструктивное техногенное воздействие на магнитосферно-ионосферную среду с использованием мощных радиоизлучений осуществляется нагревными стендами.

В настоящее время в мире имеются и работают следующие нагревные стэнды: СУРА (Россия, г. Васильсурск), *EISCAT*, *SPEAR* (Норвегия, г. Тромсе и о. Шпицберген), *HIPAS*, *HAARP* (США, Аляска) и *ARECIBO* (Пуэрто-Рико) [1].

Расположение нагревных стэндов показано на рис. 1, где отмечены географические и геомагнитные координаты местоположения размещения стэндов.

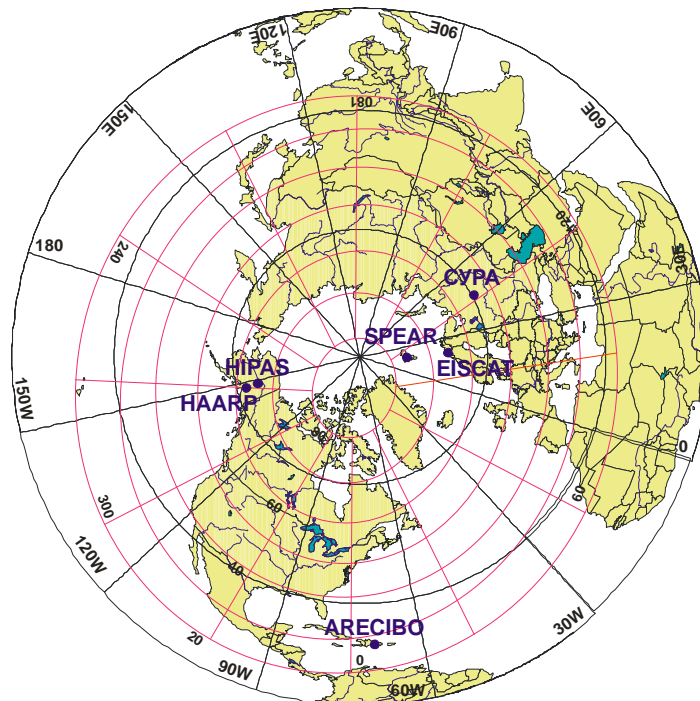


Рис. 1. Расположение нагревных стэндов

В табл. 1 представлены основные технические характеристики названных стэндов, а на рис. 2 зависимость эффективной мощности излучения от значения рабочей частоты излучения воздействия на ионосферу.

Таблица 1 – Основные характеристики нагревных стэндов

| Стэнды<br>Характеристики                                     | <i>Arecibo</i><br>( <i>Puerto Rico</i> ) | <i>HIPAS</i><br><i>Alaska</i><br>( <i>USA</i> ) | <i>HAARP</i><br><i>Alaska</i><br>( <i>USA</i> ) | <i>EISCAT</i><br><i>Tromsø</i><br>( <i>Norway</i> )     | СУРА<br>(Россия)    | <i>SPEAR</i><br><i>Spitsbergen</i><br>( <i>Norway</i> ) |
|--|--|---|---|---|---------------------|---|
| Географические координаты                                    | 18,3 N<br>66,8 W                         | 64,87 N<br>146,83 W                             | 62,39 N<br>145,15 W                             | 69,59 N<br>19,22 E                                      | 56,15 N<br>46,118 E | 78,9 N<br>16,4 E  |
| Геомагнитные координаты                                      | 29 N;<br>5,5 E                           | 65,25 N<br>266,16 E                             | 63,06 N<br>269,17 E                             | 66,11 N<br>103,37 E                                     | 52,32 N<br>120,01 E | 76,05 N<br>112,81 E                                     |
| Частота волны накачки, МГц                                   | 3,175;<br>5,1;<br>8,175                  | 2,85  | 2,8...10  | 4...8<br>5,5...8  | 4,5...9,3           | (2...3)<br>4...6  |
| Излучаемая мощность, МВт                                     | 0,5                                      | 1,0   | 3,6   | 1,2   | 0,75                | 0,19  |
| Эффективная излучаемая мощность, МВт                         | 80                                       | 84  | 3900  | 300   | 150-285             | 22 (3,9 МГц)<br>42 (5,6 МГц)                            |
| Ширина диаграммы направленности антенны на уровне 3 дБ, град | 5...10                                   | 32×45<br>(2,8 МГц);<br>11×15<br>(8,1 МГц)       | 15 (3 МГц)<br>5 (10 МГц)                        | 6 (5,5...8)<br>МГц;<br>29 (3,85...5,65)<br>5,5...8 МГц) | 10...5              | 21×14,2<br>(3,9 МГц)<br>15,2×10,2<br>(5,6 МГц)          |

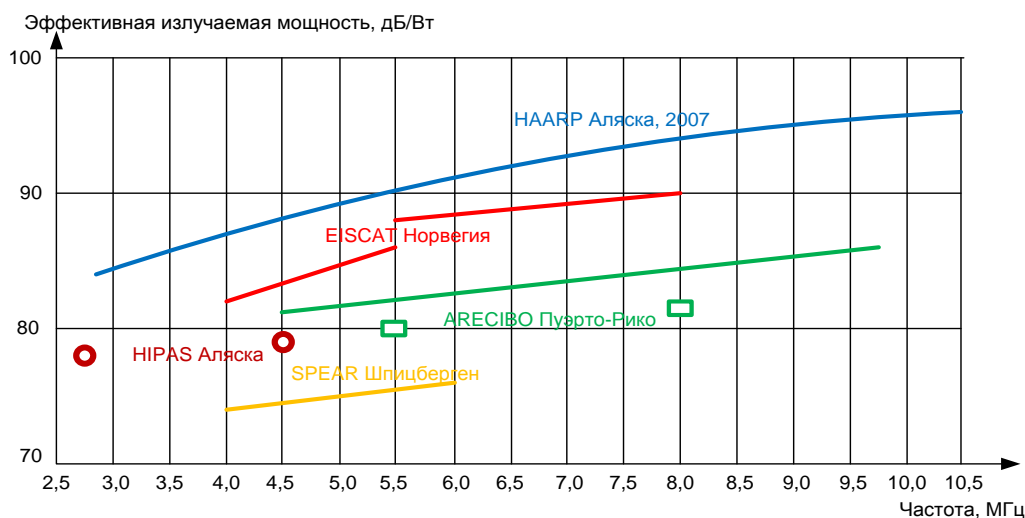


Рис. 2. Сравнительные характеристики нагревных стенов

Для обеспечения высоких уровней мощности сигналов излучения нагревных стенов применяются фазированные антенные решетки, обеспечивающие формирование относительно узкие (до 15°) главные лепестки диаграмм направленности антенн и возможности изменение их положения относительно вертикали до ±30°. При этом в составе активных фазированных решеток используются до 180 антенн.

Вид антенного поля комплекса Сура иллюстрируется на рис. 3.



Рис. 3. Антенное поле комплекса Сура с видом на р. Волгу

Стенд *HAARP* (*High-frequency Active Auroral Research Program*), см. рис. 4, который введен на полную проектную мощность в 2007 году, имеет уникальные технические характеристики по мощности, полосе частот излучения, быстродействию (единицы микросекунд изменения режимов работы, перестройки рабочей частоты, видов модуляции и положения в пространстве главного лепестка диаграммы направленности активной ФАР). Это дает возможность проведения фундаментальных и прикладных исследований при разработке технологий использования управляемых геофизических процессов в интересах гражданского и, особенно, главного приоритета военного назначения. Строительство стенда *HAARP* было проведено в три этапа в период 1990 – 2007 г.г.



Рис. 4. Нагревный стенд HAARP на Аляске

Одним из важных и информативных проявлений воздействия на ионосферу мощными сигналами электро-магнитными импульсами является генерация вторичного радиоизлучения КВ диапазона в возмущенной области ионосферы в условиях немодулированной несущей частоты излучения, создаваемого нагревными стендами (частоты накачки  $f_0$ ). Искусственное радиоизлучение ионосферы было обнаружено в экспериментах на стенде СУРА, а затем также и на стендах *EISCAT* и *HAARP*. В экспериментах, искусственное радиоизлучение ионосферы наблюдается как шумовая составляющая малой интенсивности в спектре отраженного от ионосферы сигнала волны накачки. Эти излучения занимают полосу частот  $f_0 \pm 100$  кГц, а также демонстрируют ярко выраженные отдельные спектральные составляющие, наиболее регулярно присутствующих в спектре вторичного радиоизлучения ионосферы, которые включают (рис. 5):

- широкополосное излучение (*Broad Continuum, BC*) в области отрицательных отстроек от частоты волны накачки  $\Delta f = f_{see} \dots f_0 \approx -15 \dots -100$  кГц;
- узкополосную компоненту (*Narrow Continuum, NC*), расположенную на отстройках  $\Delta f = f_{see} - f_0 \approx -7 \dots 0$  кГц;
- главный спектральный максимум (*Downshifted Maximum, DM*) на отстройках  $\Delta f \approx -7 \dots -20$  кГц и его спутники (*2DM*, иногда *3DM* и *4DM*);
- положительный максимум (*Upshifted Maximum, UM*) с  $\Delta f \approx +6 \dots +18$  кГц, расположенный в спектре почти симметрично *DM* относительно частоты волны накачки;
- широкий положительный максимум (*Broad Upshifted Maximum, BUM*) с  $\Delta f \approx +(12 \dots 200)$  кГц;
- широкополосную структуру в области положительных отстроек (*Broad Upshifted Structure, BUS*) с  $\Delta f \approx +(12 \dots 100)$  кГц) [3].

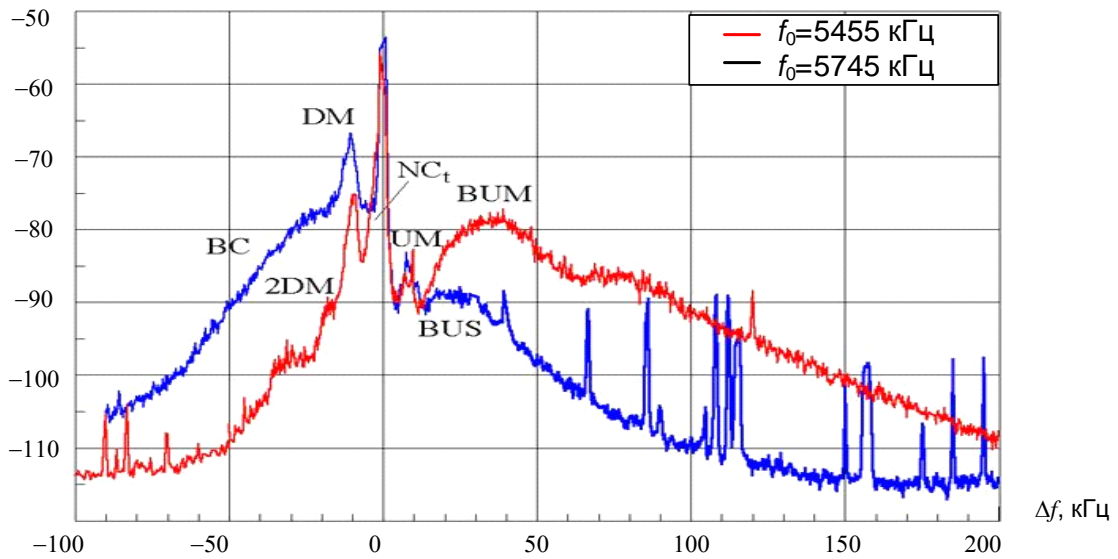


Рис. 5. Спектр компонент вторичного радиоизлучения ионосферы

Параметры всех этих спектральных компонент существенно зависят от соотношения частоты накачки  $f_0$  и  $nf_{ce}$  гармоник электронной гиромангнитной частоты. На рис. 6 приведены спектры вторичного радиоизлучения ионосферы в зависимости от частоты накачки  $f_0$  во всем частотном диапазоне стенда СУРА  $3f_{ce} < f_0 \leq 7f_{ce}$ .

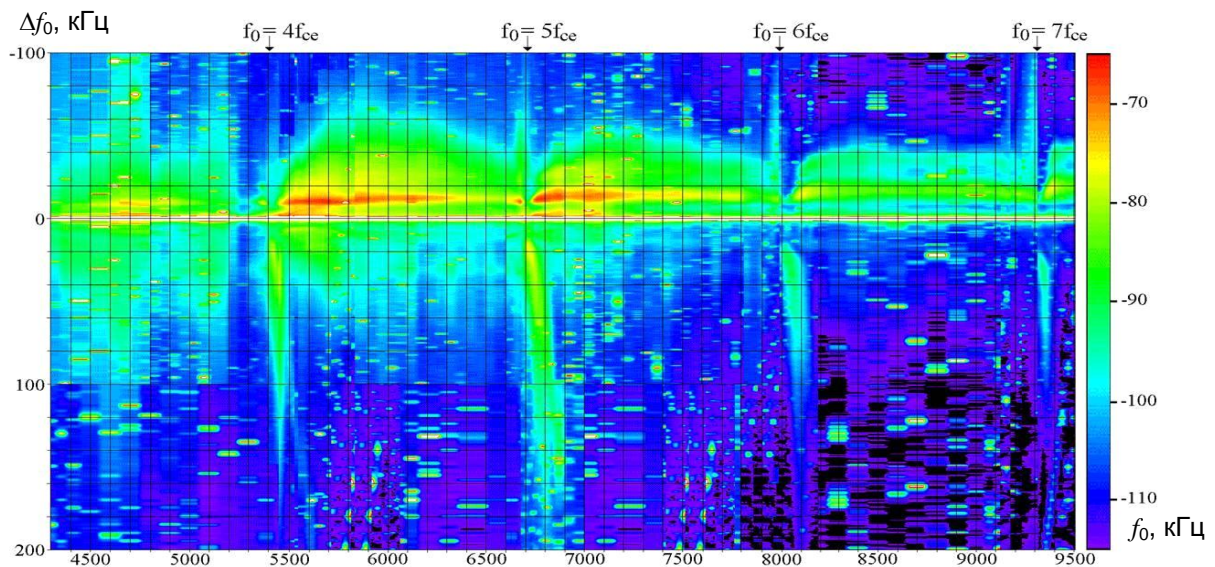


Рис. 6. Спектры вторичного радиоизлучения ионосферы в зависимости от частоты накачки стенда СУРА

На основании представленных на рис. 6 уровней сигналов вторичного излучения получены значения мощности на входе наземной приемной аппаратуры на расстояниях порядка  $R_1=250$  км от возбужденных областей ионосферы, средние значения которых на входе аппаратуры приемных устройств составляет величину порядка  $10^{-9}$  Вт.

Уровни сигналов вторичного излучения ионосферы при мощном электромагнитном на нее воздействии на входе приемных устройств систем связи, размещенных на площади в радиусе прямой радиовидимости источника излучения, определяется как

$$R \cong (3,8 \dots 4,2)(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (1)$$

где  $h_1, h_2$  – высоты (в метрах) размещения антенн приемных устройств систем связи и вторичного ИРИ ионосферы.

При высоте размещения вторичного ИРИ ионосферы порядка  $h_1=2 \cdot 10^5$  м и высоте наземных антенн приемной аппаратуры  $h_2=10$  м среднее значение радиуса прямой видимости будет равно  $R_2=1800$  км. Уровень мощности сигнала вторичного излучения на входе приемной аппаратуры определяется, как:

$$P_2 = \frac{P_1 R_1^2 \Delta f_2}{R_2^2 \Delta f_1} 10^{0,1k(R_1-R_2)}, \quad (2)$$

где  $P_1, P_2$  – уровни мощности сигналов ИРИ на входе приемных устройств измерительной аппаратуры стендов и приемной аппаратуры средств связи;  $R_1$  и  $R_2$  – расстояния до ИРИ соответствующих приемных устройств;  $\Delta f_1$ , и  $\Delta f_2$  – ширина полосы спектра сигнала вторичного излучения ионосферы (200 кГц) и ширина полосы приемного устройства средств связи, имеющей в большинстве случаев 12 кГц;  $k$  – коэффициент поглощения в атмосфере на км распространения электромагнитной волны. Для коротковолнового диапазона длин волн значение коэффициента поглощения в стратосфере составляет менее  $5 \cdot 10^{-4}$  км.

При таких условиях, уровень мощности на входе антенн приемной аппаратуры средств связи на дальности 1800 км составит порядка  $10^{-12}$  Вт (–120 дБ/Вт).

Реальная чувствительность типовых приемных устройств средств связи, имеющих полосу пропускания 12 кГц, равна не хуже  $10^{-14}$  Вт (–140 дБ/Вт). Таким образом, в полосе приемных устройств средств связи при совпадении диапазонов частот средств связи и частоты накачки нагревных стендов имеет место превышение уровня мощности сигнала вторичного излучения ионосферы в полосе не менее 100 кГц над значением реальной чувствительности приемных устройств средств связи. Это превышение более чем в 100 раз (20 дБ), безусловно, приведет к исключению приема сигналов связи на этой частоте, что определяет возможность применения этого режима для радиоподавления систем связи в КВ диапазоне. Вероятность подавления может быть значительной, имея в виду насыщенность этого диапазона каналами средств связи. Отстройка частоты каналов связи на 100 и больше килогерц от частоты накачки нагревного стенда приводит к восстановлению связи, что подтверждают случаи прекращения корабельной связи в Северном море и море Беренга при работах стендов *EISCAT* и *HAARP*.

Одной из основных причин принятия решения о строительстве стенда *HAARP* был патент США [3], в котором предложен метод создания электромагнитного щита в ионосфере для поражения стратегических ракет и спутников путем воздействия сигналами мощного ЭМИ на гиромангнитной частоте свободных электронов, вращающихся вокруг магнитных силовых линий поля Земли, и резонансной накачки их энергией до уровня больше 1 МэВ. Как показывают экспериментальные данные, электроны с энергией больше 10 кэВ являются «убийцами» радиоэлектронной аппаратуры.

Приоритеты военного назначения стенда *HAARP* были сформулированы в меморандуме 1994 года Правительства США Конгрессу по поводу необходимости дальнейшего строительства стенда *HAARP*, где определено главное назначение стенда – дальнейшее развитие системы *C<sup>3</sup>I* (*Communications, Command, Control and Intelligence*), обеспечивающей военное превосходство над эвентуальными противниками. Новые военные технологии, разрабатываемые с использованием стенда *HAARP*, обеспечивают повышение эффективности системы *C<sup>3</sup>I* во всех направлениях. А именно – систем связи, управления, контроля и разведки морского, воздушного, наземного и космического базирования в интересах вооруженных сил. При этом, как утверждается в меморандуме, стенд должен решать следующие основные задачи:



- обеспечение сверхдальней связи генерацией сигналов в ОНЧ диапазоне длин волн с наземными и подводными объектами;
- обеспечение сверхдальней связи в КВ диапазоне длин волн путем использования волновода  $F_1$  и  $F_2$  ионосферных слоев;
- генерацию циклотронных частот для синхронного резонансного воздействия и повышения энергии электронов, вращающихся вокруг магнитных силовых линий в ионосфере и магнитосфере для создания аномальных высокоэнергетических зон для воздействия на техногенные космические объекты;
- формирование многочастотных сигналов на гармониках основной частоты излучения станда как элемента бистатической локации для обнаружения и определения местоположения воздушно-космических объектов, а также передачи команд управления одновременно на нескольких частотах в КВ и УКВ диапазонах длин волн;
- создание активных помех стратегической связи в ОНЧ, КНЧ и КВ диапазонах длин волн;
- генерацию электромагнитных сигналов на биологически активных частотах.

Оценка возможностей станда *HAARP* основывается на следующих данных.

1. Высокий уровень мощности излучения станда (0,75 ... 3,6) ГВт обеспечивает возможность управления геофизическими процессами в ионосфере и управляемого вторичного излучения ионосферы. Реализация так называемой геометрической модуляции со сканированием главным лепестком диаграммы направленности ФАР в пределах до  $\pm 30^\circ$  от вертикали. Это позволяет формировать активный эффективно излучающий на частоте сканирования виртуальный диполь с вибраторами длиной десятки километров в определенной плоскости возбужденной ионосферы. При этом быстроедействие управления положением главного лепестка диаграммы направленности по угловым координатам (частота сканирования) обеспечивает с высокой эффективностью излучение на частотах от единиц до сотен герц, что позволяет организовать сверхдальнюю связь с подводными и подземными объектами. Имеются сведения о том, что практически достигнуты результаты мощности излучения в герцовом диапазоне более 5000 Вт, что позволило организовать связи с подводными лодками на глубинах 50...100 м на дальностях 5000 ... 7000 км.

Очевидно, что выявление оптимальных режимов работы станда дадут возможность повышения характеристик такой связи.

2. Формирование мощным излучением станда в ионосфере на высотах слоев  $F_1$  и  $F_2$  аномальной зоны, что обеспечивает направленный ввод в волновод между этими слоями электромагнитных волн на частотах, отличных от частоты излучения станда. Передача введенных сигналов обеспечивается на значительные расстояния с малыми потерями. Для выделения этих сигналов необходимо сформировать аналогичное зеркало в месте приема.

В апреле 2006 года по заказу США были проведены совместные исследования с использованием нагревных комплексов *HAARP* и *СУРА* по сверхдальному распространению радиоволн [4]. В результате экспериментально подтверждены теоретические предположения о возможности использования ионосферного волновода, образованного при воздействии на ионосферу нагревными комплексами, для распространения КВ и УКВ радиосигналов станций на расстояние более 7000 км (Аляска – Нижний Новгород – Ростов-на-Дону). В процессе эксперимента станд *HAARP*, излучая на частоте порядка 4,2 МГц, сформировал зеркало в ионосфере. С помощью этого зеркала были ретранслированы в ионосферный волновод сигналы передатчика *SuperDARN* (*Super Dual Auroral Radar Network*) на частоте 14,3 МГц. Станд *СУРА* сформировал аналогичное зеркало при возбуждении ионосферы на частоте 4,4 МГц. Посредством волновода из ионосферных слоев сигналы передатчика *SuperDARN* были ретранслированы в подионосферное пространство, а затем приняты наземной приемной аппаратурой в г. Ростове-на-Дону. На рис. 7 показана схема прохождения сигнала передатчика в эксперименте по организации сверхдального распространения КВ.

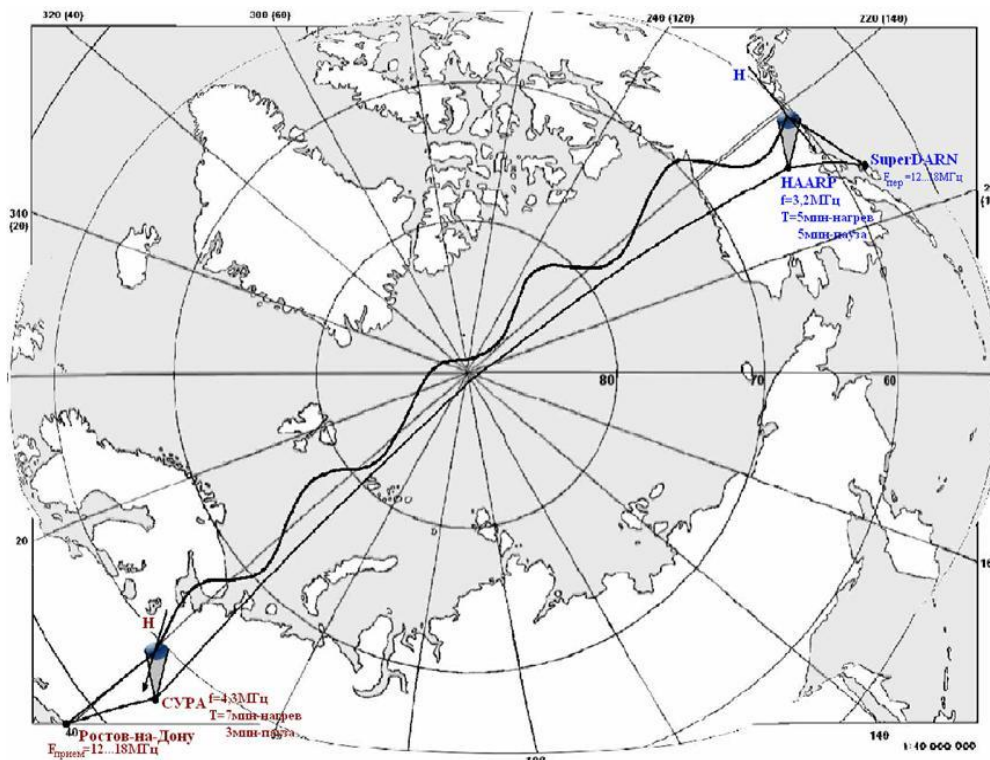


Рис. 7. Схема сверхдальней связи (локации) с использованием возбужденного в ионосфере волновода

По результатам этого эксперимента, который показал возможность использование ракурсного рассеивания для решения задач радиоразведки, радиоэлектронного подавления и радиосвязи в КВ, УКВ и более высокочастотных диапазонах, в США были начаты проекты по созданию мобильных нагревных стенов. Такие стенды по замыслу предполагалось размещать на автомобилях или кораблях, обеспечивая формирование вблизи границ недружественных стран локальных неоднородностей – зеркал на определенной площади ракурсного рассеивания, что повышало эффективность решения в том числе и военных задач.

3. Генерация стендом *HAARP* резонансных циклотронных частот приводит к возбуждению свободных электронов, вращающихся вокруг магнитных силовых линий Земли, и таким образом создает аномальные зоны высокой энергии электронов – квазимазеры. Технология создания таких аномалий предусматривает сопряжение по касательной главного лепестка ФАР стенда к конкретно выбранной силовой линии магнитного поля Земли и излучения стендом резонансных циклотронных электромагнитных волн.

Рис. 8 иллюстрирует процесс формирования высокоэнергетического электромагнитного излучения стендом *HAARP*.

Оценки показывают, что в этих условиях уровень энергии электронов может быть повышен на несколько порядков до десятков МэВ. Изменение пространственного положения главного лепестка диаграммы направленности фазированной антенной решеткой (ФАР) стенда *HAARP* в направлении других магнитных силовых линий позволяет формировать некоторую высокоэнергетическую вертикальную плоскость с высотами от 100 до 1000 и более километров и шириной несколько десятков километров. При прохождении такой энергетической аномалии техногенным космическим объектом с высокой вероятностью может произойти формирование мощного электромагнитного импульса, который способен вызвать необратимые катастрофические поражения бортовой электронной аппаратуры (функциональное поражение радиоэлектронной аппаратуры).

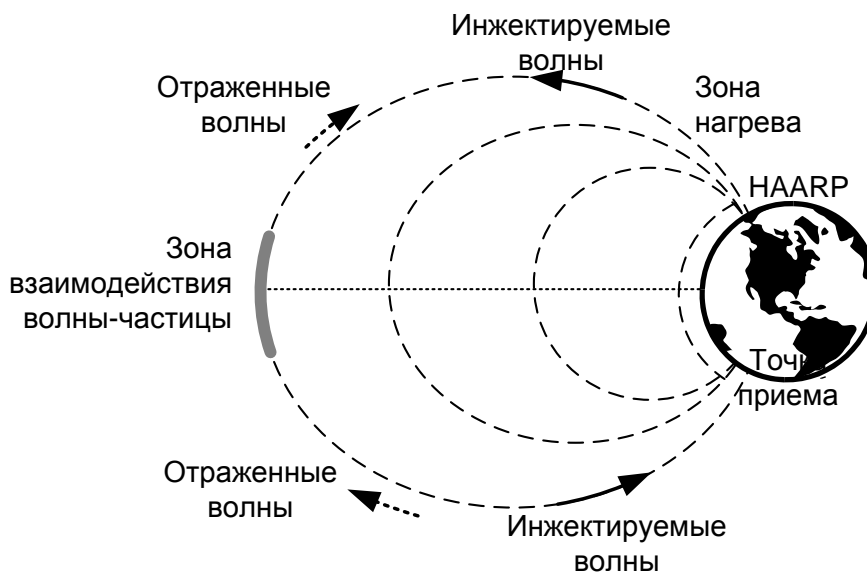


Рис. 8. Генерация сигналов на циклотронной частоте

Так как область энергетической аномалии возбужденных электронов зависит от пространственного положения главного лепестка диаграммы направленности ФАР станда, принципиально возможна пространственная селекция поражаемых космических объектов в зависимости от параметров их траекторий. Развитие и совершенствования технологий режима резонансного воздействия на свободные электроны ионосферы и магнитосферы открывает возможность создания противокосмического и противоракетного оружия, основанного на использовании управляемых геофизических процессов техногенного воздействия на ионосферу.

4. Высокая мощность излучения станда *HAARP* и специальные режимы модуляции несущих частот обуславливают возможность высокоэффективного вторичного излучения возбужденной ионосферы на гармониках основной рабочей частоты. Имеющиеся материалы экспериментальных исследований на станде *HAARP* показывают реализацию управляемого вторичного излучения ионосферы до 53...57 гармоники основной несущей частоты станда. Такой режим управления вторичным излучением возбуждаемой ионосферы позволяет формировать многочастотное сигнальное поле, которое может быть использовано для подавления систем связи, командных радиотрасс. Прежде всего – в северной части Атлантического и западной части Ледовитого океанов.

5. Возможность управления геофизическими процессами за счет воздействия на ионосферу мощным электромагнитным излучением и инициирование вторичного излучения на частотах в герцовом диапазоне частот определяют высокую вероятность реализации излучения на биологически активных частотах. Такие излучения негативно влияют на состояние высокоорганизованных живых организмов и, особенно, человека. Исследования показали, что поля в крайне низкочастотном (КНЧ) (10 ... 300 Гц) и сверхнизкочастотном (СНЧ) (0 ... 10 Гц) диапазонах обладают сильным воздействием на биологические объекты. Слабое затухание этих волн позволяет им распространяться на значительные расстояния. Применения методов геометрической модуляции и формирования в ионосфере виртуальной дипольной антенны обеспечивают эффективное преобразование мощности несущей частоты станда во вторичное излучение на биологически активных частотах. Имеются достоверные сведения о проведенных экспериментах, в которых достигнуты уровни мощности вторичного излучения ионосферы до 5000 Вт в герцовом диапазоне частот, а виртуальная дипольная антенна в ионосфере обеспечивала направленное вторичное излучение на генерируемых частотах.

Таким образом, анализ имеющихся материалов и проведенные оценки технических возможностей стенда *HAARP* позволяют сделать и обосновать вывод о создании и отработке на нагревном стенде технологий управления геофизическими процессами в ионосфере в условиях воздействия мощным электромагнитным излучением, что может привести к созданию геофизического оружия многофункционального применения и создавать помехи работе радиоэлектронных систем. Прежде всего – систем связи.

Стенды *EISCAT*, *SPEAR* (Норвегия, г. Тромсе и о. Шпицберген), в настоящий момент официально работают по исследовательским международным научным программам, направления которых в определенной степени совпадают с исследованиями, проводимыми на стенде *HAARP*. Это прежде всего определение условий и режимов управления геофизическими процессами ионосферы, условий образования вторичного излучения ионосферы в ОНЧ и КНЧ диапазонах, ракурсного рассеивания и других эффектов

Все нагревные стенды, исключая *ARECIBO*, расположены практически на одном меридиане (рис. 1), что принципиально позволяет реализовать условия синхронных режимов работы стендов для решения задач деструктивного воздействия на ионосферу. Прежде всего – формирование помех РЭС, создание высокоэнергетических зон в ионосфере и магнитосфере и источников вторичного излучения на частотах многофункционального применения, а также многочастного радиолокационного пространственно распределенного поля контроля и обнаружения воздушных и космических объектов.

Оценки имеющихся данных показывают, что диапазон рабочих частот обнаружения, идентификации и анализа сигналов стендов и вторичного излучения возбужденной ионосферы располагается в пределах от 0 до 200 МГц. В условиях большого числа сигналов радиостанций в этом диапазоне реализация высокой степени вероятности обнаружения и идентификации сигналов стендов и вторичного излучения ионосферы представляет значительные технические проблемы и трудности. Решение проблемы потребует создание новых технологий, алгоритмов анализа и обработки информации, а также создание специального комплекса приемной аппаратуры.

### Литература

1. Дмитриев В. Г., Земский Ю. А., Перунов Ю. М. Состояние средств мощного электромагнитного воздействия на ионосферу и направления применения управляемых геофизических процессов в военных целях // Радиотехника и электроника. 2014. Т. 6. № 2. С. 129-169.
2. Пашинцев В. П. и др. Влияние ионосферы на характеристики космических систем передачи информации – М.: Физматлит, 2006. – 184 с.
3. U.S. Patent No. 4,686,685 Eastlund; Bernard J, August 11, 1987.
4. Artificial Ionospheric Turbulence and Radio Wave Propagation (Sura-*HAARP*), NIRFI, 603950 Russia, Nizhny Novgorod, 2003-2006.

### References

1. Dmitriev V. G., Zemsky Yu. A., Perunov Yu. M. *Sostoyanie sredstv moshchnogo elektromagnitnogo vozdejstviya na ionosferu i napravleniya primeneniya upravlyaemyh geofizicheskikh processov v voennyh celyah* [The state of the means of powerful electromagnetic influence on the ionosphere and the directions of application of controlled geophysical processes for military purposes]. Radio Engineering and Electronics. 2014. V. 6. No. 2. Pp. 129-169.
2. Pashintsev V. P. et al. *Vliyanie ionosfery na harakteristiki kosmicheskikh sistem peredachi informacii* [The influence of the ionosphere on the characteristics of space information transmission systems]. Moscow. Fizmatlit Publ. 2006. 184 p.
3. U.S. Patent No. 4,686,685 Eastlund; Bernard J, August 11, 1987.
4. Artificial Ionospheric Turbulence and Radio Wave Propagation (Sura-*HAARP*), NIRFI, 603950 Russia, Nizhny Novgorod, 2003-2006.

Статья поступила 14 января 2023 г.

### Информация об авторах

*Дмитриев Владимир Григорьевич* – Кандидат технических наук. Ведущий научный сотрудник Института динамики геосфер РАН.

Адрес: 119334, Москва, Ленинский проспект, 38, корпус 1, Email: gejspheres@idg.chph.ru

*Куприянов Александр Ильич* – Доктор технических наук, профессор. Профессор Московского авиационного института (национального исследовательского университета). Тел.: +7-910-469-09-55.

Адрес: 125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4, Email: aik125167@mail.ru

*Перунов Юрий Митрофанович* – Доктор технических наук, профессор. генеральный конструктор средств радиоэлектронной борьбы, главный научный сотрудник Института динамики геосфер РАН.

Адрес: 119334, Москва, Ленинский проспект, 38, корпус 1, Email: gejspheres@idg.chph.ru

### Technogenic impacts on the medium of propagation of the radio signal

V. G. Dmitriev, A. I. Kupriyanov, Yu. M. Perunov

**Abstract.** *The cold plasma of the ionosphere, which mainly affects the conditions of propagation of radio waves in near-Earth space, is formed due to the ionization of neutral atoms and molecules of atmospheric gases by harsh solar and cosmic radiation. But modern technologies allow you to control the parameters of the ionosphere. First of all, the refractive index. To actively influence the ionosphere and purposefully change the conditions for the propagation of radio signals in near-Earth space, heating stands are used - powerful transmitters with phased antenna systems. The energy of the emitted electromagnetic fields is resonantly absorbed by the ionosphere, increasing the degree of magnetization of the magnetoactive plasma. As a result, conditions are created for generating very low frequency signals suitable for organizing communication with underground and underwater objects; providing ultra-long-range communication through the use of specific waveguides formed by ionospheric layers F1 and F2; creating local areas of space with high ionization for destructive effects on space objects; formation of active interference to radio-electronic communication systems, data transmission, radar and radio navigation; generation of biologically active signals. The use of heating stands to control the state of the ionosphere also opens up opportunities for other practical and research applications.*

**Keywords:** *ionosphere, heating stands, electronic warfare, radio signal, communication systems.*

### Information about Authors

*Dmitriev Vladimir Grigorevich* – Cand.Tech.Sci. The leading scientific employee of Institute of dynamics of geospheres of the Russian Academy of Sciences.

Adress: 119334, Moscow, Lenin prospectus, 38, the case 1, Email: gejspheres@idg.chph.ru

*Kupriyanov Alexander Ilich* – Dr.Sci.Tech., the professor. The professor of the Moscow aviation institute (National research university). Tel.: +7-910-469-09-55

Adress: 125993, Moscow, Volokolamsk highway, 4, Email: aik@mai.ru.

*Perunov Jury Mitrofanovich* – Dr.Sci.Tech., the professor. The general designer of means of radio-electronic struggle, Chief Researcher, Institute of Geosphere Dynamics, Russian Academy of Sciences.

Adress: 119334, Moscow, Leninsky prospect, 38, building 1, Email: gejspheres@idg.chph.ru

**Для цитирования:** Дмитриев В. Г., Куприянов А. И., Перунов Ю. М. Техногенные воздействия на среду распространения радиосигнала // Техника средств связи. 2023. № 1 (161). С. 2-12. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-2-12.

**For citation:** Dmitriev V. G., Kupriyanov A. I., Perunov Yu. M. Technogenic impacts on the medium of propagation of the radio signal. Means of Communication Equipment. 2023. No. 1 (161). Pp. 2-12. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-2-12. (in Russian).

УДК 621.396.946

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-13-18

## Прогнозирование излученной мощности для обеспечения связи на сверхдлинных волнах

Акулов В. С., Мирошников В. И., Талагаев В. И., Угрик Л. Н.

**Аннотация.** Для обеспечения глобальной связи с пространственно рассредоточенными морскими погруженными объектами гражданского и военного назначения используются системы радиосвязи на сверхдлинных волнах. Для проектировщиков и разработчиков таких систем важным фактором является выбор необходимой излученной мощности передающих устройств для заданных зон обслуживания и условий приема. Существующие методы и электродинамические модели расчета дальности и глубины связи носят оценочный характер параметров и рабочих характеристик сверхдлинноволновых радиолиний. Для практического использования проектировщикам систем и, в частности, разработчикам передающего оборудования радиолиний необходим прикладной аппарат расчета требуемой излученной мощности в зависимости от заданных геофизических параметров трасс радиосвязи, требуемого качества приема сигналов, уровня естественных помех в точке приема, полосы и рабочих частот. В статье представлена инженерная методика определения и выбора необходимой излученной мощности передатчиков для конкретных, географически заданных радиотрасс. Методика может быть полезна разработчикам систем и приемопередающего оборудования радиолиний, а также должностным лицам органов оперативного управления сверхдлинноволновой связью.

**Ключевые слова:** сверхдлинные волны, дальность связи, излученная мощность, напряженность поля сигнала, полоса приема, уровень помех, отношение сигнал/помеха.

### Введение

При решении практических задач проектирования систем связи сверхдлинноволнового (СДВ) диапазона и, в частности, при разработке радиопередающих средств, требуется определение их мощности, минимально необходимой для обеспечения требуемых дальности связи, зон покрытия и глубины приема информации с заданным качеством. Системы СДВ радиосвязи относятся к энергоемким системам, в которых излученная мощность передатчиков является ценным ресурсом, требующим минимизации её затрат на передачу единицы информации.

К настоящему времени разработаны методики прогнозирования зависимости отношения сигнал/шум от времени, расстояния и глубины приема для СДВ радиолиний. Решение обратной задачи – определения необходимой мощности радиопередающих средств для надежного приема сигналов на географически заданных трассах требует отдельного рассмотрения и разработки соответствующей методики.

При расчете поля сигнала в диапазоне СДВ используется известная полуэмпирическая формула Остина, хотя при этом и делается оговорка, что получаемые таким образом результаты надо признавать оценочными [1-3], т. е. нижней границей, показанной на рис. 1 пунктирной кривой. Не обсуждается, однако, точность таких оценок. Излишне категорично утверждается также о стабильности СДВ радиоканала и о возможности выполнять анализ без привязки к конкретной радиотрассе. В связи с этим представляется целесообразным рассмотреть возможность прогнозирования требуемой мощности излучения на базе современных методов, учитывающих максимальное возможное число геофизических параметров.

### Постановка задачи

В предельных по дальности условиях связи должно обеспечиваться отношение сигнал/помеха  $h$ , необходимое для приема сигнала с заданным качеством (например с заданной вероятностью приема сигнала), а именно

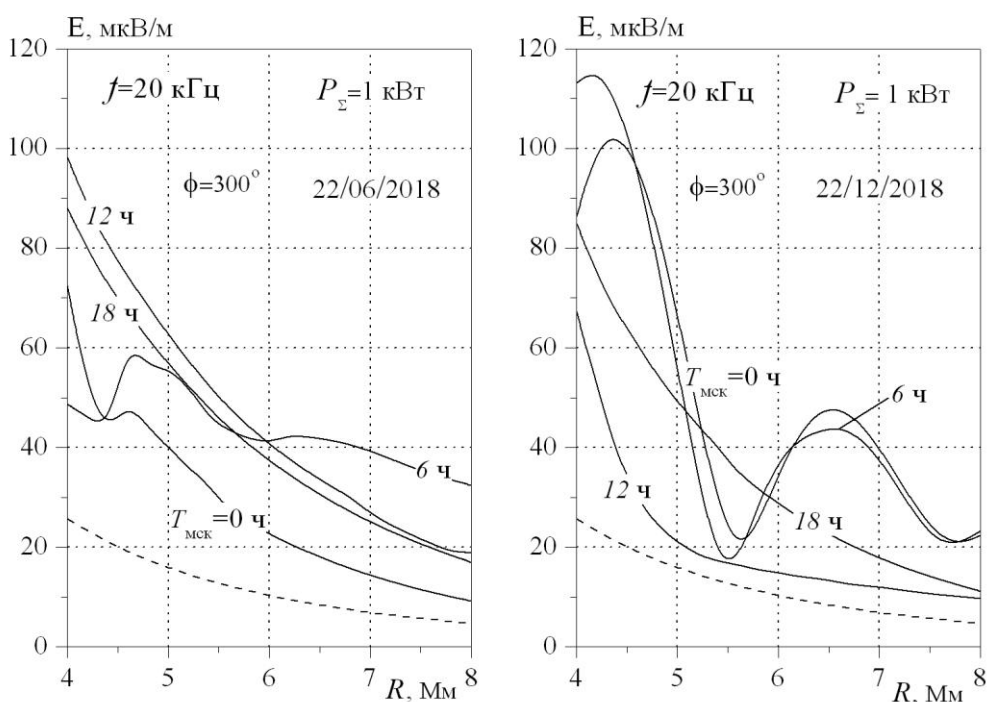


Рис. 1. Зависимость поля от расстояния для различных условий

$$h^2 = \frac{E_s^2(v_i)}{\Delta f E_{n1}^2(w_i)} = \frac{P_\Sigma E_{s1}^2(v_i)}{\Delta f E_{n1}^2(w_i)}, \tag{1}$$

где  $E_s$  – напряженность электрического поля сигнала;  
 $v_i (i=1,2,\dots,n)$  – совокупность технических и геофизических параметров, определяющих поле сигнала;  
 $\Delta f$  – эффективная (шумовая) полоса приема;  
 $E_{n1}^2(w_i)$  – спектральная плотность мощности шумов;  
 $w_i (i=1,2,\dots,m)$  – совокупность параметров, определяющих поле шумов;  
 $P_\Sigma$  – излученная мощность источника (передатчика);  
 $E_{s1}$  – напряженность электрического поля сигнала при единичной излученной мощности.

Если ввести в рассмотрение отношение сигнал/помеха в заданной точке  $h_1$  для единичной излученной мощности, т. е

$$h_1^2(v_i, w_i) = \frac{E_{s1}^2(v_i)}{\Delta f E_{n1}^2(w_i)}, \tag{2}$$

то из представления (1) следует формула для вычисления мощности, требуемой для передачи сигнала в заданную точку

$$P_\Sigma = \frac{h^2}{h_1^2(v_i, w_i)}. \tag{3}$$

Выражения (2) и (3) решают поставленную задачу, если известны напряженности полей сигнала  $E_{s1}$  и шума  $E_{n1}$  и задано отношение  $h$ , обеспечивающее требуемое качество

связи. Параметры  $E_{s1}$  и  $E_{n1}$ , являются случайными, поэтому требуется учет их статистических характеристик. Для более корректного анализа качества канала необходимо использовать значения уровня сигнала, которое превышает с заданной вероятностью  $p$ , и уровень шума, который с этой вероятностью не превышает. Неопределенность (точность прогнозирования) указанных величин определяется их стандартным отклонением [2].

### Прогнозирование уровней шумов и сигнала

В диапазоне СДВ помехи радиоприему в основном определяются внешними атмосферными шумами [4], для определения которых обычно используется модель, изложенная в [5]. Данная модель была построена на базе измерений естественного фона и позволяет прогнозировать не только медианное значение уровня шума, но и его суточные, сезонные и годовые вариации, позволяющие определить полное стандартное отклонение. К указанным выше параметрам  $w_i$  в этой модели относятся географические координаты точки наблюдения (приема), местное время и сезон. Анализ показал, что стандартное отклонение уровня естественных шумов  $\sigma_n$  может составлять от 4 дБ до 8 дБ. Такая неопределенность связана с естественными вариациями параметров ионосферы и активности приэкваториальных грозных очагов, определяющих, в основном, уровень естественного фона.

При расчете поля сигнала в рассматриваемом диапазоне на протяженных трассах обычно используется метод нормальных волн, в котором поле представляется в виде разложения по собственным функциям радиального оператора задачи. На практике здесь достаточно учитывать несколько членов бесконечного ряда (мод) [6]. К настоящему времени разработано эвристическое обобщение данного метода на случай кусочно-однородных трасс, позволяющее учитывать неоднородность ионосферы и земной поверхности вдоль трассы распространения волны. Учитываются также геомагнитное поле и более тонкие эффекты, обусловленные трансформацией мод на границах участков с разными электрическими свойствами. Программно данный метод реализован Санкт-Петербургским государственным университетом, он имеет убедительное экспериментальное подтверждение и используется здесь для дальнейшего анализа. Результаты расчетов с использованием данного метода будем интерпретировать как медианные значения. К геофизическим параметрам  $v_i$  относятся координаты точек передачи и приема сигналов, дата и Мировое время.

Точность прогнозирования поля сигнала, по мнению разработчиков программного продукта, характеризуется стандартным отклонением  $\sigma_s$  от 3 – 4 дБ днем до 6 – 8 дБ в ночных условиях [2]. Считается, что указанная точность является физическим пределом и повышена быть не может, поскольку временные вариации поля связаны также с естественными вариациями параметров ионосферы.

### Результаты расчетов

В качестве примера по разработанной методике приведем результаты расчетов зависимости напряженности поля от расстояния  $R$  (в мегаметрах – Мм) для СДВ радиостанции, расположенной в районе г. Краснодар (представлены на рис. 1 сплошными линиями). Азимут трассы  $\phi=300^\circ$  соответствует направлению на Центральную Атлантику. Остальные параметры и условия приведены на графиках. Пунктиром приведены результаты расчетов по формуле Остина, которые существенно отличаются от современных представлений.

Результаты расчетов суточного хода требуемой излученной мощности, выполненные по формулам (1), (2) и (3), приведены на рис. 2. Здесь иллюстрируется необходимость учета неопределенностей уровней сигнала и шума. Правый график относится к расчетам медианных значений ( $p=0,5$ ), левый вычислен при условии превышения требуемого отношения сигнал/шум с вероятностью  $p=0,9$ . Принималось, что  $\sigma_s=3$  дБ,  $\Delta f=100$  Гц,  $h=3$ . Значение  $\sigma_n$  вычислялось по данным [4].



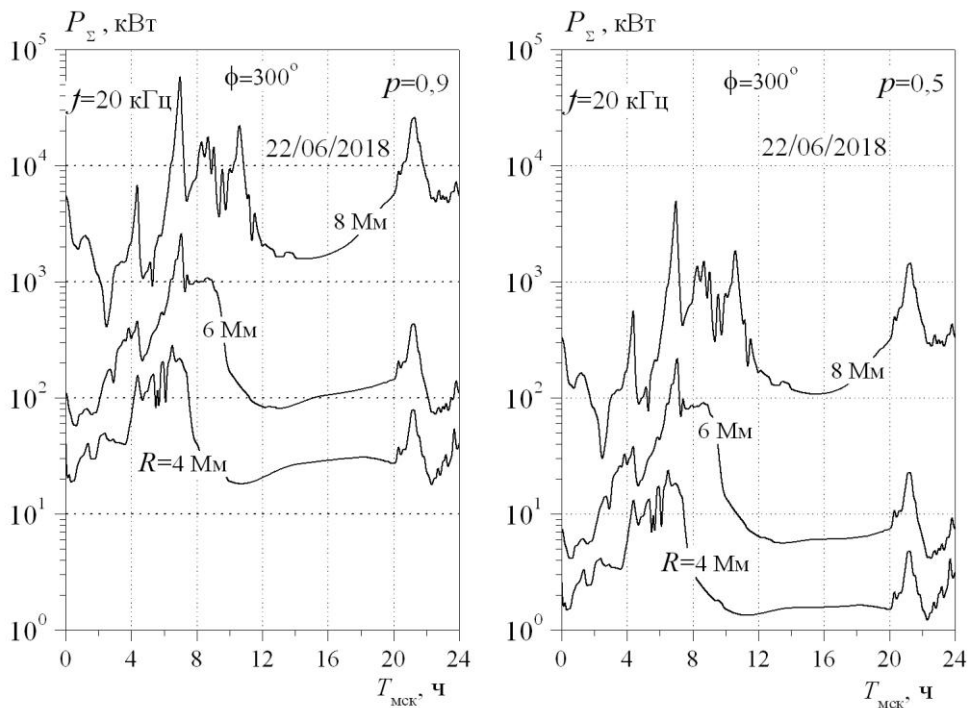


Рис. 2. Суточный ход требуемой мощности для связи с объектами в Центральной Атлантике

Рис. 3 аналогичен рис. 2, но здесь выбрана трасса в направлении на Индийский океан ( $\phi=150^\circ$ ). В целом рис. 2 и 3 свидетельствуют о том, что при анализе энергетических характеристик необходимо учитывать неопределенности уровней сигнала и шума, а также принимать во внимание конкретные трассы и геофизические условия на них.

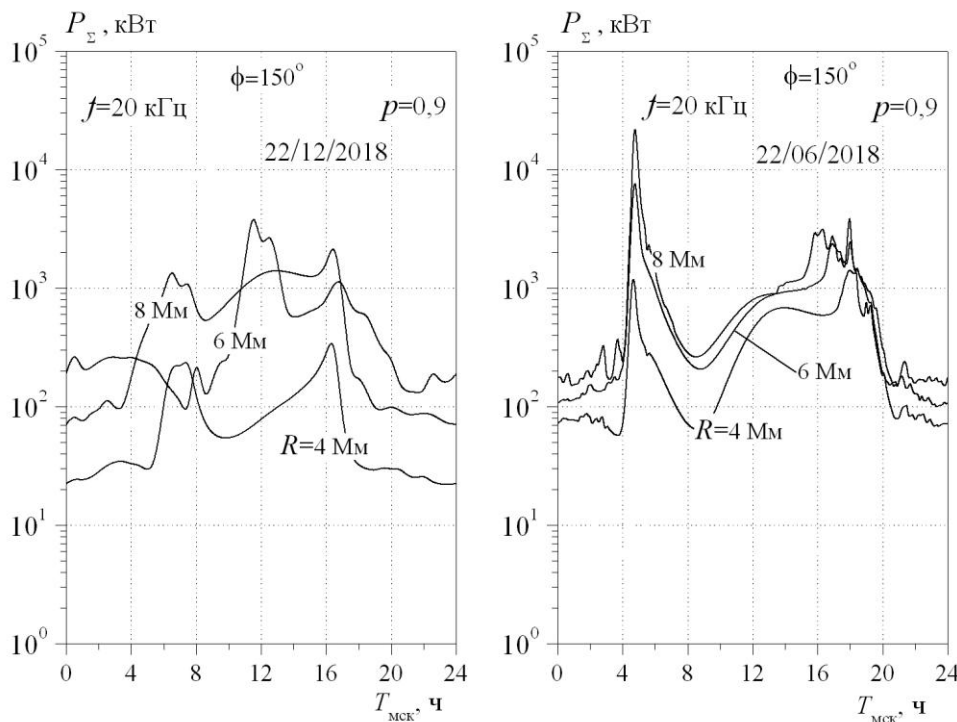


Рис. 3. Суточный ход требуемой мощности для связи с объектами в Индийском океане

Сильная изрезанность кривых не имеет конкретного физического смысла, поскольку положение локальных экстремумов достаточно точно не прогнозируется [6]. На практике целесообразно руководствоваться сглаженными зависимостями.

### Заключение

По результатам примеров расчета по предложенной в работе методике требуемой излучаемой мощности передающих средств СДВ радиолиний можно сделать следующие обобщающие выводы:

1. Излучаемая мощность для обеспечения требуемого качества связи в заданных в примерах условиях существенно зависят от многих геофизических параметров канала распространения сигналов и их анализ необходимо проводить для конкретных районов с учетом геофизических и помеховых условий приема сигналов.

2. Для расчета излученной мощности, требуемой для передачи сигналов с заданным качеством, существенным является учет неопределенности прогнозируемых значений уровней сигнала и естественных шумов.

3. В целом предложенная методика существенно повышает точность прогнозирования по сравнению с существующими методами, упрощает и сокращает сроки проведения инженерных расчетов при оценке и выборе минимальной мощности передающих устройств, как при проектировании и разработке СДВ систем радиосвязи, так и при оперативном управлении системами.

### Литература

1. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жуков Г. А. Обеспечение устойчивого доведения команд управления до удаленных исполнительных звеньев // Техника средств связи. 2022. № 1 (157). С. 2-24.
2. Акулов В. С., Салюк Д. В., Угрик Л. Н. Учет точности прогнозирования электромагнитных полей при расчете радиотехнических систем // Техника средств связи. 2014. № 3 (142). С. 53-56.
3. Долуханов М. П. Распространение радиоволн. – М.: Связь, 1972, 336 с.
4. Додонов А. В., Михеев А. Ф. Подводный радиоприем. М.: Военное издательство, 1996, 188 с.
5. Рекомендации МСЭ-R P.372-11(09/2016). Радишум.
6. Макаров Г. И., Новиков В. В., Рыбачек С. Т. Распространение радиоволн в волноводном канале земля-ионосфера и в ионосфере. – М.: Наука, 1994, 151 с.

### References

1. Nikolashin Yu. L., Budko P. A., Zhukov G. A. Ensuring sustainable communication of the board teams to remote executive units. Means of communication Equipment 2022. № 1(157). Pp. 2-24. (in Russian).
2. Akulov V. S., Salyuk D. V., Ugrik L. N. Taking into account the accuracy of predicting electromagnetic fields when calculating radioengineering systems Means of communication Equipment 2014. № 3(142). Pp. 53-56. (in Russian).
3. Dolukhanov M. P. Propagation of radio waves. M.: «Communication», 1972, 336 p. (in Russian).
4. Dodonov A. V., Mikheev A. F. Underwater Radio. M.: Military ed., 1996, 188 p. (in Russian).
5. ITU-R R.372-11 Recommendations (09/2016). Radio noise. (in Russian).
6. Makarov G. I., Novikov V. V., Rybachek S. T. Propagation of radio waves in the waveguide channel of the earth-ionosphere and in the ionosphere. Moscow. Nauka, 1994, 151 p. (in Russian).

Статья поступила 15 февраля 2023 года

### Информация об авторах

*Акулов Валерий Семёнович* – Кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Старший научный сотрудник НИЦ ТТ ВМФ КК и СОИ и Р. Тел.: +7(812)542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

*Мирошников Валентин Иванович* – Доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ. Генеральный конструктор ПАО «Интелтех». Тел. +7(812)295-66-66. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

*Талагаев Владимир Иванович* – Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, профессор Академии военных наук. Ведущий научный сотрудник ПАО «Интелтех». Тел. +7(812)4489650. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

*Угрик Лариса Николаевна* – Кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Старший научный сотрудник НИЦ ТТ ВМФ КК и СОИ и Р. Тел.: +7(812)542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

### Forecasting of the radiated power for ensuring communication on superlong waves

V. S. Akulov, V. I. Miroshnicov, V. I. Talagaev, L. N. Ugrik

**Annotation:** *To provide global communication with spatially dispersed offshore submerged objects of civil and military purposes, radio communication systems on ultra-long waves are used. For designers and designers of such systems, an important factor is the selection of the necessary radiated power of the transmitting devices for the specified service areas and reception conditions. The existing methods and electrodynamic models for calculating the range and depth of communication are of an estimated nature of the parameters and performance of ultra-long-wavelength radio links. For practical use, system designers and, in particular, developers of transmission equipment of radio links need an application apparatus for calculating the required radiated power depending on the specified geophysical parameters of radio communication paths, the required signal reception quality, the level of natural interference at the reception point, bandwidth and operating frequencies. The article presents an engineering technique for determining and selecting the necessary radiated power of transmitters for specific, geographically defined radio channels. The technique can be useful for developers of systems and transceiver equipment of radio links, as well as officials of operational control bodies of ultra-long-wave communication.*

**Keywords:** *superlong waves, communication range, radiated power, signal field strength, reception band, interference level, signal/interference ratio.*

### Information about Authors

*Akulov Valery Semenovich* – Candidate of Technical Sciences. Senior Researcher at the Research Center TT Navy KK and SOI and R. Tel.: +7 (812) 542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

*Miroshnikov Valentin Ivanovich* – General Designer of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor. Science Honored Worker of the Russian Federation. Research interests: synthesis of telecommunication systems. Тел.: +7 (812) 295-66-66 .

*Talagaev Vladimir Ivanovich* – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor of the Academy of Military Sciences. Leading researcher at PJSC «Inteltech». Tel. +7 (812) 448-96-50. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

*Ugrik Larisa Nikolaevna* – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher. Senior Researcher at the Research Center TT Navy KK and SOI and R. Tel.: +7 (812) 542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

**Для цитирования:** Акулов В. С., Мирошников В. И., Талагаев В. И., Угрик Л. Н. Прогнозирование излученной мощности для обеспечения связи на сверхдлинных волнах // Техника средств связи. 2023. № 1 (161). С. 13-18. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-13-18.

**For citation:** Akulov V. S., Miroshnikov V. I., Talagaev V. I., Ugrik L. N. Forecasting of the radiated power for ensuring communication on superlong waves. Means of Communication Equipment 2023. № 1 (161). Pp. 13-18. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-13-18 (in Russian).

УДК 618:623.624:621.396.946

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-19-28

## Методика оценки энергетических потерь декаметровых радиолиний в высоких широтах, вызванных авроральным поглощением

Кулешов И. А., Полуян А. М., Талагаев В. И.

***Аннотация.** В последние десятилетия освоение Арктики в исследовательских, экономических и военных интересах потребовало соответствующего развития телекоммуникационной инфраструктуры арктического региона. Особое внимание при этом уделяется исследованиям особенностей распространения радиоволн в Арктике с целью разработки эффективных в энергетическом отношении систем и средств арктической радиосвязи. Представленная в работе методика оценки энергетических потерь радиолиний декаметрового диапазона в высоких широтах разработана в среде программирования Mathcad. Методика позволяет уточнять значение коэффициента аврорального поглощения с учётом выбранной геомагнитной широты, местного времени, солнечной активности, сезона года и используемых для связи рабочих частот. Полученные с помощью методики количественные оценки повышают точность прогнозирования энергетических потерь в декаметровых радиолиниях связи, позволяют численно оценивать и выбирать энергетические и вероятностно-временные характеристики проектируемых радиолиний декаметрового диапазона волн для Арктического региона.*

***Ключевые слова:** авроральное поглощение, арктическая радиосвязь, связь на декаметровых волнах, ультрафиолетовое и корпускулярное излучения Солнца.*

### Введение

Со времен первооткрывателей и до наших дней Арктика является одним из приоритетных направлений развития и важным субъектом защиты национальных, экономических и военных интересов России [1]. Несмотря на использование спутниковых систем связи для высокоскоростного обмена большими объёмами информации, радиосвязь на декаметровых (ДКМ) волнах продолжает оставаться незаменимым средством управления подвижными объектами государственного и военного назначения в Арктических районах, в частности, управления силами и средствами Военно-морского флота (ВМФ). Это связано с тем, что системы спутниковых телекоммуникаций актуальны в мирное время. В военных условиях при поражении спутников-ретрансляторов орбитальной группировки возможности таких систем ограничиваются локальными районами, где корреспонденты будут обеспечены связью в пределах прямой видимости. Наряду со спутниковой и ДКМ связью перспективным направлением развития радиосвязи в интересах устойчивого управления подвижными объектами в Арктике служит использование систем средневолновой радиосвязи с земной волной, что обусловлено аномально низким затуханием волн этого диапазона над трассами с ледовым покрытием [2-5].

Повышение надёжности ДКМ радиосвязи в Арктической зоне в условиях естественных и преднамеренных помех [4, 6] одна из главных целей и задач исследований ионосферного радиоканала в высоких широтах. Трудности в её решении связаны со спецификой среды распространения сигналов, характеризующейся повышенной возмущённостью ионосферы и аномальными явлениями различного рода.

В спокойных условиях ионосфера высоких широт принципиально не отличается от среднеширотной ионосферы и энергетические потери в ионосфере связаны в основном с регулярным поглощением, определяемым ультрафиолетовым излучением Солнца. Однако для высокоширотной ионосферы более типичным является состояние возмущённости, когда в процессе поглощения радиоволн помимо регулярной компоненты появляется аномальная компонента, обусловленная вторжением в ионосферу энергетически заряженных частиц. Эта

компонента создаёт добавочные потери на линии связи, которые нередко оказываются преобладающими [7].

Аномальная компонента поглощения (иначе авроральное поглощение) является результатом корпускулярного воздействия на ионосферу за счёт проникновения электронов с энергией более 40 кэВ в нижнюю ионосферу и создания там повышенной ионизации на высотах 60-100 км. Авроральное поглощение представляет основные трудности в обеспечении связи на высокоширотных радиоперелиниях. Большая частота появления аврорального поглощения делает такое ухудшение связи характерным для Арктической зоны [7]. В отдельных периодах авроральное поглощение имеет небольшую длительность (в 80 % случаев не более двух часов). При этом область, занятая поглощением, имеет форму дуги, вытянутой вдоль геомагнитной широты.

Авроральное поглощение в ночные часы сопровождается магнитными возмущениями, а днем наблюдается при спокойном магнитном поле. Области магнитной активности и аврорального поглощения различны: если первая представляет собой овал, максимум которого ночью соответствует исправленной геомагнитной широте ( $\Phi'$ )  $67-68^\circ \Phi'$ , а днем  $78^\circ \Phi'$ , то зона авроральной активности имеет вид кольца с максимумом на  $65-67^\circ \Phi'$  как в дневные, так и в ночные часы [8]. Иными словами, ночью обе зоны приходятся примерно на одни и те же исправленные геомагнитные широты, а днем их положение различается примерно на  $10^\circ$ . Протяженность этой дуги по долготе может превышать  $160^\circ$  при ширине по меридиану в  $10^\circ$ .

На рис. 1 представлен суточный ход интенсивности параметра аврорального поглощения  $L_h$ , отмеченный в виде изобат от  $0,5 \div 2$  дБ в течение суток. Параметр аврорального поглощения  $L_h$  измеряется в дБ.

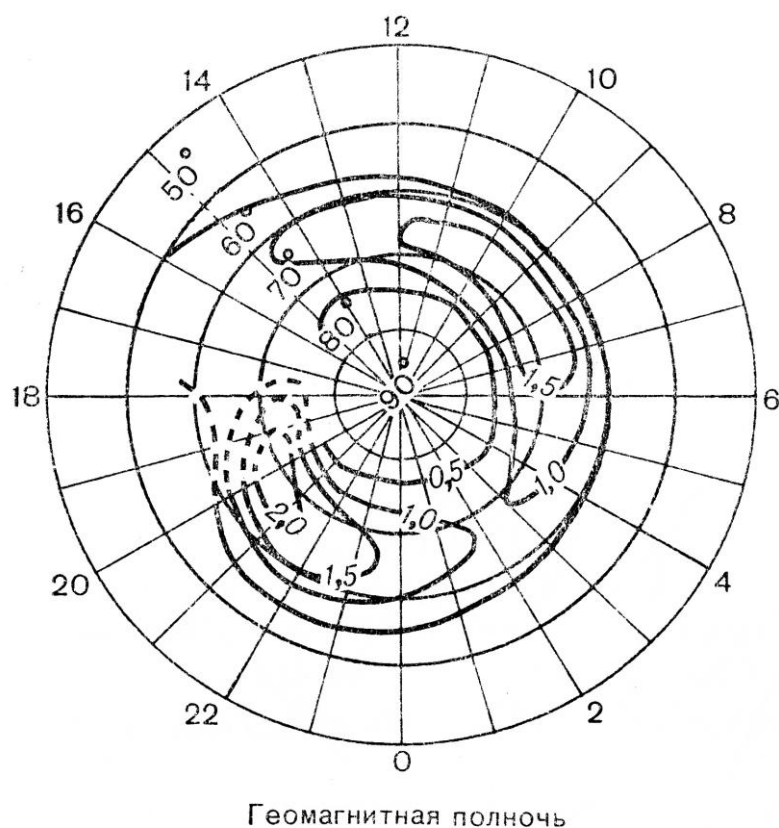


Рис. 1. Круговая диаграмма суточного хода интенсивности аврорального поглощения в геомагнитной системе координат и долготного времени

Из диаграммы суточного хода вероятности появления аврорального поглощения видно, что наблюдаются два максимума: предполуденный (8-10 ч.), предполуночный (22-24 ч.) и один минимум – в вечерние часы (18-20 ч.) местного времени.

В высоких широтах повышенная возмущённость приводит к тому, что нормальный закон статистического распределения параметров ионосферы, характерный для средних широт, нарушается [8]. В значениях ионосферных характеристик появляются асимметрия и бимодальность, что свидетельствует о влиянии разных агентов ионизации (ультрафиолетового и корпускулярного излучений Солнца) [7]. В условиях повышенной возмущенности ионосферы среднее значение  $L_h$ , как наиболее репрезентативная оценка для невозмущенных условий, оказывается недостаточно чувствительной к изменениям, соответствующим возмущённой ионосфере. Поэтому учёт среднего значения  $L_h$  в оценке аврорального поглощения для высокоширотных ДКМ радиолиний является недостаточным, что представлено в методе прогнозирования уровней сигнала и показателей надежности высокочастотных систем (ВЧ-систем) в соответствии с рекомендацией МСЭ-R P.533-14 Международного Союза Электросвязи (ITU) [9] (табл. 1).

Таблица 1 – Значения параметра аврорального поглощения  $L_h$  от времени суток, сезона года и широты

| а) Дальность передачи меньше или равна 2500 км |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Местное время в средней точке трассы, $t$ , ч. |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| $G_n$ ( $\Phi'$ )                              | $01 \leq t < 04$ | $04 \leq t < 07$ | $07 \leq t < 10$ | $10 \leq t < 13$ | $13 \leq t < 16$ | $16 \leq t < 19$ | $19 \leq t < 22$ | $22 \leq t < 01$ |
| $77,5^\circ \leq G_n$                          | 2,0              | 6,6              | 6,2              | 1,5              | 0,5              | 1,4              | 1,5              | 1,0              |
| $72,5^\circ \leq G_n < 77,5^\circ$             | 3,4              | 8,3              | 8,6              | 0,9              | 0,5              | 2,5              | 3,0              | 3,0              |
| $67,5^\circ \leq G_n < 72,5^\circ$             | 6,2              | 15,6             | 12,8             | 2,3              | 1,5              | 4,6              | 7,0              | 5,0              |
| $62,5^\circ \leq G_n < 67,5^\circ$             | 7,0              | 16,0             | 14,0             | 3,6              | 2,0              | 6,8              | 9,8              | 6,6              |
| $57,5^\circ \leq G_n < 62,5^\circ$             | 2,0              | 4,5              | 6,6              | 1,4              | 0,8              | 2,7              | 3,0              | 2,0              |
| $52,5^\circ \leq G_n < 57,5^\circ$             | 1,3              | 1,0              | 3,2              | 0,3              | 0,4              | 1,8              | 2,3              | 0,9              |
| $47,5^\circ \leq G_n < 52,5^\circ$             | 0,9              | 0,6              | 2,2              | 0,2              | 0,2              | 1,2              | 1,5              | 0,6              |
| $42,5^\circ \leq G_n < 47,5^\circ$             | 0,4              | 0,3              | 1,1              | 0,1              | 0,1              | 0,6              | 0,7              | 0,3              |
| $77,5^\circ \leq G_n$                          | 1,4              | 2,5              | 7,4              | 3,8              | 1,0              | 2,4              | 2,4              | 3,3              |
| $72,5^\circ \leq G_n < 77,5^\circ$             | 3,3              | 11,0             | 11,6             | 5,1              | 2,6              | 4,0              | 6,0              | 7,0              |
| $67,5^\circ \leq G_n < 72,5^\circ$             | 6,5              | 12,0             | 21,4             | 8,5              | 4,8              | 6,0              | 10,0             | 13,7             |
| $62,5^\circ \leq G_n < 67,5^\circ$             | 6,7              | 11,2             | 17,0             | 9,0              | 7,2              | 9,0              | 10,9             | 15,0             |
| $57,5^\circ \leq G_n < 62,5^\circ$             | 2,4              | 4,4              | 7,5              | 5,0              | 2,6              | 4,8              | 5,5              | 6,1              |
| $52,5^\circ \leq G_n < 57,5^\circ$             | 1,7              | 2,0              | 5,0              | 3,0              | 2,2              | 4,0              | 3,0              | 4,0              |
| $47,5^\circ \leq G_n < 52,5^\circ$             | 1,1              | 1,3              | 3,3              | 2,0              | 1,4              | 2,6              | 2,0              | 2,6              |
| $42,5^\circ \leq G_n < 47,5^\circ$             | 0,5              | 0,6              | 1,6              | 1,0              | 0,7              | 1,3              | 1,0              | 1,3              |
| $77,5^\circ \leq G_n$                          | 2,2              | 2,7              | 1,2              | 2,3              | 2,2              | 3,8              | 4,2              | 3,8              |
| $72,5^\circ \leq G_n < 77,5^\circ$             | 2,4              | 3,0              | 2,8              | 3,0              | 2,7              | 4,2              | 4,8              | 4,5              |
| $67,5^\circ \leq G_n < 72,5^\circ$             | 4,9              | 4,2              | 6,2              | 4,5              | 3,8              | 5,4              | 7,7              | 7,2              |
| $62,5^\circ \leq G_n < 67,5^\circ$             | 6,5              | 4,8              | 9,0              | 6,0              | 4,8              | 9,1              | 9,5              | 8,9              |
| $57,5^\circ \leq G_n < 62,5^\circ$             | 3,2              | 2,7              | 4,0              | 3,0              | 3,0              | 6,5              | 6,7              | 5,0              |
| $52,5^\circ \leq G_n < 57,5^\circ$             | 2,5              | 1,8              | 2,4              | 2,3              | 2,6              | 5,0              | 4,6              | 4,0              |
| $47,5^\circ \leq G_n < 52,5^\circ$             | 1,6              | 1,2              | 1,6              | 1,5              | 1,7              | 3,3              | 3,1              | 2,6              |
| $42,5^\circ \leq G_n < 47,5^\circ$             | 0,8              | 0,6              | 0,8              | 0,7              | 0,8              | 1,6              | 1,5              | 1,3              |

З И М А

Равноденствие

Л Е Т О

Более полную информацию о возмущенной среде содержит статистическая модель аврорального поглощения, разработанная Институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИРАН) совместно с Арктическим и Антарктическим научно-исследовательским институтом Госкомитета по гидрометеорологии и контролю природной среды (ААНИИ) [7]. Статистическая модель аврорального поглощения основывается на эмпирических данных распределения частоты появления аномального поглощения, полученных в результате долгосрочных измерений космического радиоизлучения с помощью риометров (риометр – прибор для измерения поглощения в ионосфере методом регистрации уровня космического радиоизлучения) на высокоширотной цепочке станций от  $\Phi' = 61^\circ \div 73^\circ$  в Российском секторе Арктики. Распределения были построены для четырех сезонов высокой (в.с.а.) и низкой (н.с.а.) солнечной активности на каждые 2 часа местного времени. Использовались данные на каждый день. Полученные эмпирические распределения близки по своей форме к экспоненциальному закону распределения и к «правой ветви» нормального закона распределения с нулевым средним значением, которые и были затем использованы для их аппроксимации [8]. В связи с этим для каждого эмпирического распределения частоты появления аномального поглощения оценивались два параметра:  $\bar{x}$  – среднее значение величин аврорального поглощения и  $\sigma_0$  – среднеквадратичное отклонение от нулевого значения величин аврорального поглощения.

В табл. 2 и 3 приведены значения параметров  $\bar{x}$  и  $\sigma_0$  для периодов высокой и низкой солнечной активности, для сезона Весна, с шагом в  $1^\circ$  года с  $61^\circ \div 73^\circ \Phi'$  и на каждые 2 часа.

По результатам эмпирических данных, полученных ИЗМИРАН совместно с ААНИИ, разработан метод расчета энергетических потерь на высокоширотных радиоперелиниях, вызванных авроральным поглощением [7].

Суть метода, заключается в представлении аврорального поглощения в виде функции от геомагнитной широты  $\Phi'$ , местного времени  $t$ , солнечной активности  $W$  и сезона года  $\delta$ :

$$A_B = F(\Phi', t, W, \delta), \quad (1)$$

где  $A_B$  – авроральное поглощение при вертикальном прохождении ионосферы.

При этом вероятность поглощения при вертикальном падении определяется с помощью численного интегрирования по формуле

$$P(x) = \int_0^x W(x) dx, \quad (2)$$

где  $x = A_B$ , а  $W(x)$  – функция плотности вероятности аврорального поглощения.

При этом:

– закон нормального распределения, описываемый правой ветвью нормальной кривой, применим для условий с большей возмущенностью, т. е. для периодов весеннего и осеннего равноденствия, днём, в годы высокой солнечной активности функция плотности вероятности аврорального поглощения имеет вид

$$W(x) = \frac{2}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x}_0)^2}{2\sigma_0^2}}, \quad (3)$$

где  $\bar{x}_0 = 0$ .

– закон экспоненциального распределения, применим для спокойных условий: в вечерние часы, на станциях, расположенных на широтах выше  $70^\circ$ , летом, в годы низкой солнечной активности. При таком виде распределений наблюдаются более меньшие значения аврорального поглощения, функция плотности вероятности имеет вид

$$W(x) = e^{-\lambda x}, \quad (4)$$

где  $\lambda$  – параметр экспоненциального распределения, для которого  $\lambda = 1/\bar{x}$ , значение  $\bar{x}$  выбирается из табл. 2.

Таблица 2 – Значения параметра  $\bar{x}$  для различных часов местного времени  
геомагнитных широт  $61^\circ \div 73^\circ$ , дБ

| $\Phi$                       | 0 ч  | 2 ч  | 4 ч  | 6 ч  | 8 ч  | 10 ч | 12 ч | 14 ч | 16 ч | 18 ч | 20 ч | 22 ч |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Весна</b>                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Высокая солнечная активность |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $61^\circ$                   | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,32 | 0,34 | 0,35 | 0,35 | 0,34 | 0,32 | 0,28 | 0,27 | 0,28 |
| $62^\circ$                   | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,35 | 0,4  | 0,42 | 0,41 | 0,38 | 0,34 | 0,3  | 0,27 | 0,29 |
| $63^\circ$                   | 0,36 | 0,36 | 0,37 | 0,4  | 0,47 | 0,48 | 0,47 | 0,42 | 0,37 | 0,3  | 0,29 | 0,31 |
| $64^\circ$                   | 0,38 | 0,38 | 0,4  | 0,5  | 0,53 | 0,53 | 0,52 | 0,46 | 0,4  | 0,35 | 0,3  | 0,33 |
| $65^\circ$                   | 0,42 | 0,41 | 0,43 | 0,52 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,5  | 0,42 | 0,37 | 0,36 | 0,37 |
| $66^\circ$                   | 0,44 | 0,44 | 0,48 | 0,52 | 0,57 | 0,58 | 0,56 | 0,52 | 0,43 | 0,38 | 0,35 | 0,38 |
| $67^\circ$                   | 0,44 | 0,45 | 0,43 | 0,49 | 0,57 | 0,6  | 0,58 | 0,52 | 0,43 | 0,37 | 0,34 | 0,37 |
| $68^\circ$                   | 0,44 | 0,44 | 0,43 | 0,46 | 0,54 | 0,62 | 0,59 | 0,5  | 0,42 | 0,36 | 0,32 | 0,35 |
| $69^\circ$                   | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,42 | 0,45 | 0,51 | 0,51 | 0,45 | 0,4  | 0,34 | 0,3  | 0,32 |
| $70^\circ$                   | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,36 | 0,38 | 0,39 | 0,4  | 0,4  | 0,35 | 0,3  | 0,29 | 0,3  |
| $71^\circ$                   | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,33 | 0,34 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,31 | 0,28 | 0,27 | 0,28 |
| $72^\circ$                   | 0,29 | 0,29 | 0,3  | 0,3  | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,31 | 0,29 | 0,27 | 0,26 | 0,26 |
| $73^\circ$                   | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,3  | 0,29 | 0,28 | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,25 |
| <b>Весна</b>                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Низкая солнечная активность  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $61^\circ$                   | 0,2  | 0,2  | 0,21 | 0,21 | 0,23 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,23 | 0,2  | 0,2  | 0,2  |
| $62^\circ$                   | 0,23 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,25 | 0,27 | 0,28 | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,24 | 0,24 |
| $63^\circ$                   | 0,24 | 0,25 | 0,28 | 0,31 | 0,32 | 0,33 | 0,32 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,3  | 0,28 |
| $64^\circ$                   | 0,28 | 0,31 | 0,32 | 0,35 | 0,36 | 0,37 | 0,36 | 0,34 | 0,33 | 0,32 | 0,32 | 0,32 |
| $65^\circ$                   | 0,32 | 0,33 | 0,33 | 0,36 | 0,38 | 0,4  | 0,39 | 0,37 | 0,34 | 0,33 | 0,33 | 0,34 |
| $66^\circ$                   | 0,35 | 0,35 | 0,34 | 0,37 | 0,42 | 0,43 | 0,43 | 0,4  | 0,36 | 0,34 | 0,35 | 0,35 |
| $67^\circ$                   | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,38 | 0,43 | 0,47 | 0,46 | 0,4  | 0,37 | 0,34 | 0,35 | 0,35 |
| $68^\circ$                   | 0,35 | 0,35 | 0,34 | 0,38 | 0,43 | 0,47 | 0,46 | 0,4  | 0,37 | 0,34 | 0,35 | 0,35 |
| $69^\circ$                   | 0,35 | 0,34 | 0,34 | 0,37 | 0,4  | 0,45 | 0,43 | 0,38 | 0,33 | 0,3  | 0,31 | 0,33 |
| $70^\circ$                   | 0,3  | 0,29 | 0,32 | 0,36 | 0,38 | 0,4  | 0,37 | 0,33 | 0,29 | 0,27 | 0,28 | 0,29 |
| $71^\circ$                   | 0,25 | 0,25 | 0,28 | 0,34 | 0,36 | 0,36 | 0,33 | 0,29 | 0,25 | 0,24 | 0,26 | 0,27 |
| $72^\circ$                   | 0,22 | 0,23 | 0,25 | 0,31 | 0,34 | 0,33 | 0,3  | 0,25 | 0,23 | 0,22 | 0,24 | 0,25 |
| $73^\circ$                   | 0,2  | 0,2  | 0,22 | 0,26 | 0,3  | 0,3  | 0,26 | 0,22 | 0,2  | 0,19 | 0,2  | 0,2  |

При этом авроральное поглощение для вертикального прохождения ионосферы ( $A_V$ ) пересчитывается для случая наклонного прохождения ионосферы  $L_h$  и соответствующей рабочей частоты  $f_o$  по формуле

$$L_h = kA_V, \quad (5)$$

где

$$k = \frac{(32 + f_L)^2}{(f_o + f_L)^2 \cos \varphi}, \quad (6)$$

$f_o$  – рабочая частота, МГц,  $f_L$  – продольная составляющая гирочастоты, которая для высоких широт близка к 1,5 МГц,



$$\varphi = \arcsin \frac{R_a \cos \Delta}{R_a + h_{\text{отр}}}, \tag{7}$$

где  $R_a$  – радиус Земли;  $h_{\text{отр}}$  – высота области отражения;  $\varphi$  – угол падения на ионосферный слой,  $\Delta$  – угол излучения.

Авроральное поглощение  $L_h$  является зависимой величиной и с учётом формулы (5) для всякой зависимой величины вида  $y = kx$ , т. е.  $y = L_h$  и используя формулы (1) - (7), выведем вероятность поглощения при наклонном прохождении ионосферы для заданной рабочей частоты  $f_o$

$$P(y) = \int_0^y W_2(y) dy . \tag{8}$$

Таблица 2 – Значения параметра  $\sigma_o$  для различных часов местного времени для геомагнитных широт  $61^\circ \div 73^\circ$

| $\Phi$       | 0 ч                                 | 2 ч  | 4 ч  | 6 ч  | 8 ч  | 10 ч | 12 ч | 14 ч | 16 ч | 18 ч | 20 ч | 22 ч |
|--------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Весна</b> | <b>Высокая солнечная активность</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $61^\circ$   | 0,45                                | 0,4  | 0,39 | 0,4  | 0,41 | 0,42 | 0,42 | 0,4  | 0,39 | 0,37 | 0,35 | 0,35 |
| $62^\circ$   | 0,5                                 | 0,47 | 0,49 | 0,5  | 0,55 | 0,56 | 0,55 | 0,49 | 0,45 | 0,4  | 0,35 | 0,38 |
| $63^\circ$   | 0,6                                 | 0,51 | 0,53 | 0,6  | 0,7  | 0,71 | 0,70 | 0,56 | 0,5  | 0,46 | 0,41 | 0,45 |
| $64^\circ$   | 0,6                                 | 0,53 | 0,55 | 0,68 | 0,72 | 0,73 | 0,72 | 0,65 | 0,56 | 0,48 | 0,43 | 0,5  |
| $65^\circ$   | 0,6                                 | 0,54 | 0,55 | 0,69 | 0,73 | 0,74 | 0,73 | 0,7  | 0,59 | 0,5  | 0,45 | 0,5  |
| $66^\circ$   | 0,6                                 | 0,55 | 0,57 | 0,68 | 0,75 | 0,76 | 0,75 | 0,72 | 0,6  | 0,5  | 0,48 | 0,5  |
| $67^\circ$   | 0,6                                 | 0,57 | 0,57 | 0,65 | 0,75 | 0,8  | 0,8  | 0,72 | 0,62 | 0,5  | 0,46 | 0,48 |
| $68^\circ$   | 0,6                                 | 0,55 | 0,55 | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,8  | 0,7  | 0,6  | 0,47 | 0,45 | 0,45 |
| $69^\circ$   | 0,55                                | 0,53 | 0,54 | 0,57 | 0,65 | 0,7  | 0,7  | 0,62 | 0,55 | 0,45 | 0,41 | 0,42 |
| $70^\circ$   | 0,5                                 | 0,5  | 0,5  | 0,55 | 0,59 | 0,6  | 0,59 | 0,54 | 0,47 | 0,42 | 0,38 | 0,39 |
| $71^\circ$   | 0,44                                | 0,45 | 0,47 | 0,52 | 0,55 | 0,56 | 0,53 | 0,47 | 0,44 | 0,4  | 0,37 | 0,37 |
| $72^\circ$   | 0,4                                 | 0,4  | 0,45 | 0,5  | 0,53 | 0,52 | 0,5  | 0,45 | 0,43 | 0,4  | 0,35 | 0,35 |
| $73^\circ$   | 0,37                                | 0,38 | 0,4  | 0,44 | 0,5  | 0,47 | 0,45 | 0,43 | 0,4  | 0,36 | 0,34 | 0,34 |
| $74^\circ$   | 0,35                                | 0,35 | 0,36 | 0,4  | 0,41 | 0,42 | 0,42 | 0,4  | 0,36 | 0,34 | 0,33 | 0,33 |
| <b>Весна</b> | <b>Низкая солнечная активность</b>  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $61^\circ$   | 0,25                                | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| $62^\circ$   | 0,25                                | 0,26 | 0,29 | 0,3  | 0,37 | 0,4  | 0,37 | 0,3  | 0,28 | 0,27 | 0,26 | 0,26 |
| $63^\circ$   | 0,32                                | 0,35 | 0,4  | 0,45 | 0,5  | 0,52 | 0,5  | 0,47 | 0,43 | 0,4  | 0,4  | 0,39 |
| $64^\circ$   | 0,41                                | 0,42 | 0,45 | 0,5  | 0,52 | 0,55 | 0,53 | 0,5  | 0,45 | 0,43 | 0,44 | 0,44 |
| $65^\circ$   | 0,5                                 | 0,44 | 0,45 | 0,51 | 0,58 | 0,61 | 0,61 | 0,55 | 0,47 | 0,45 | 0,45 | 0,47 |
| $66^\circ$   | 0,5                                 | 0,46 | 0,47 | 0,51 | 0,6  | 0,65 | 0,65 | 0,62 | 0,5  | 0,45 | 0,44 | 0,47 |
| $67^\circ$   | 0,5                                 | 0,49 | 0,46 | 0,5  | 0,6  | 0,66 | 0,68 | 0,65 | 0,52 | 0,46 | 0,4  | 0,43 |
| $68^\circ$   | 0,5                                 | 0,49 | 0,44 | 0,46 | 0,58 | 0,65 | 0,68 | 0,65 | 0,52 | 0,45 | 0,35 | 0,35 |
| $69^\circ$   | 0,35                                | 0,35 | 0,35 | 0,4  | 0,44 | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,45 | 0,32 | 0,27 | 0,28 |
| $70^\circ$   | 0,29                                | 0,3  | 0,3  | 0,36 | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,32 | 0,3  | 0,25 | 0,23 | 0,23 |
| $71^\circ$   | 0,27                                | 0,25 | 0,27 | 0,35 | 0,37 | 0,36 | 0,3  | 0,25 | 0,25 | 0,24 | 0,23 | 0,24 |
| $72^\circ$   | 0,25                                | 0,23 | 0,24 | 0,3  | 0,36 | 0,32 | 0,25 | 0,24 | 0,22 | 0,21 | 0,22 | 0,23 |
| $73^\circ$   | 0,24                                | 0,23 | 0,24 | 0,3  | 0,35 | 0,3  | 0,25 | 0,22 | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,21 |

Применив среду программирования *Mathcad* и используя значения параметров  $\bar{x}$  и  $\sigma_o$ , приведённых в табл. 2, 3, и формулы (1) – (8) построим графики зависимости вероятности связи  $P_c$  от аврорального поглощения  $L_h$ . Под вероятностью связи  $P_c$  будем понимать вероятность превышения порогового значения отношения сигнал/шум для конкретной

радиолинии. Расчёт приведён для геомагнитной широты  $\Phi' = 66^\circ$ , на которую приходится максимум аврорального поглощения в год в.с.а. (число  $W = 100$ ) сезон «Весна» на 12 часов (рис. 2) и 22 часа (рис. 3), что соответствует суточному максимуму, и на 18 часов (рис. 4), что соответствует суточному минимуму.

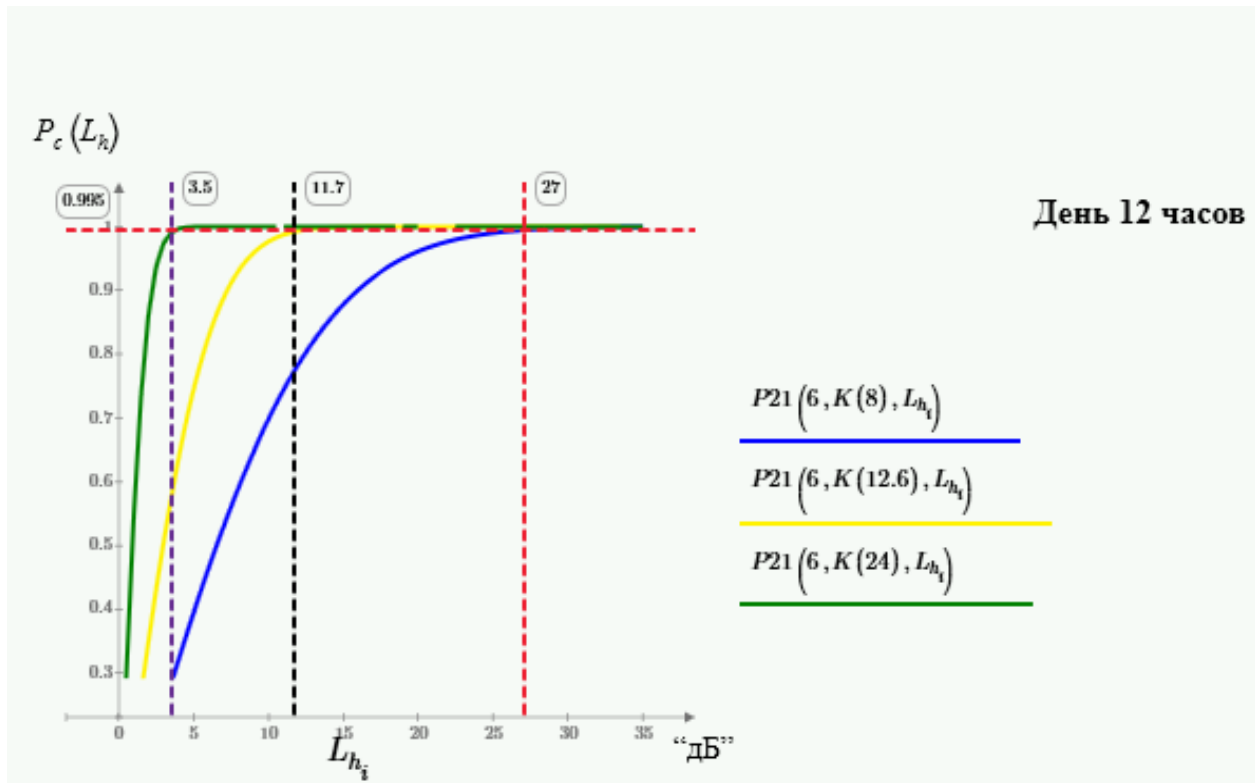


Рис. 2. График зависимости вероятности связи  $P_c(L_h)$  от аврорального поглощения  $L_h$  на 12 часов, соответствующий суточному максимуму в зависимости от рабочей частоты  $f_o$ .

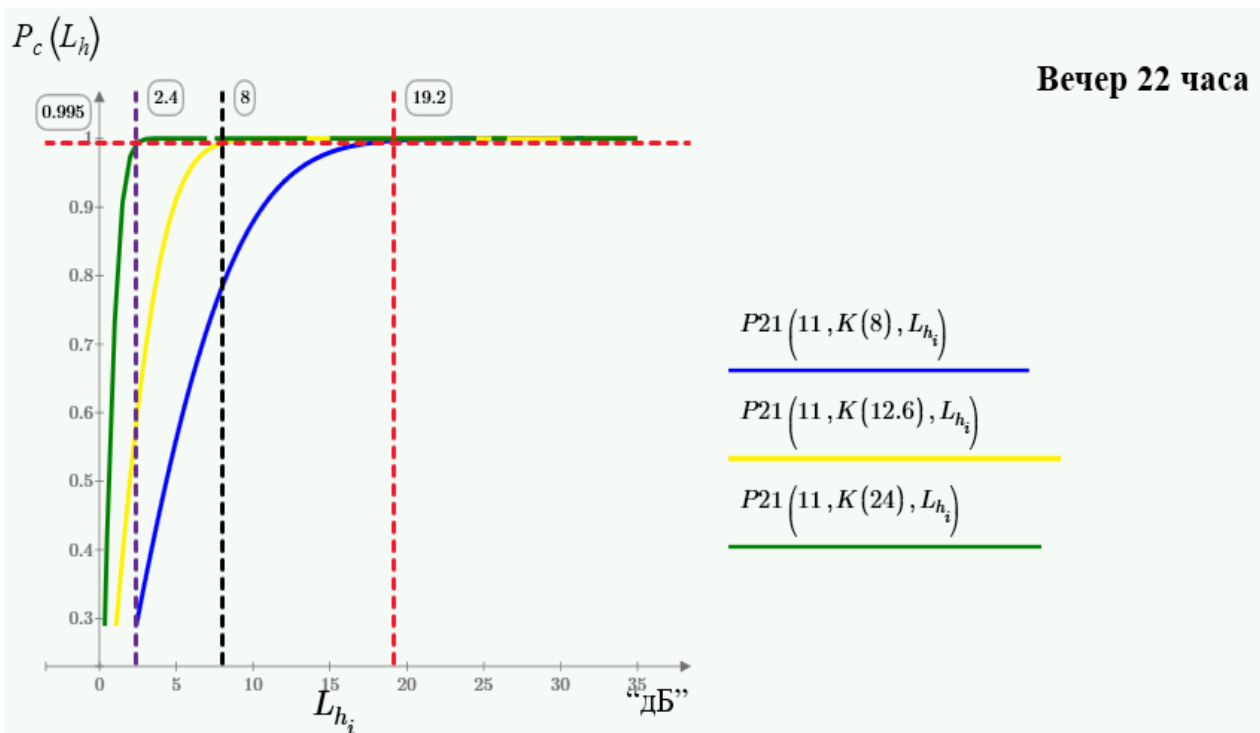


Рис. 3. График зависимости вероятности связи  $P_c(L_h)$  от аврорального поглощения  $L_h$  на 22 часа, соответствующий суточному максимуму в зависимости от выбранной рабочей частоты  $f_o$ .

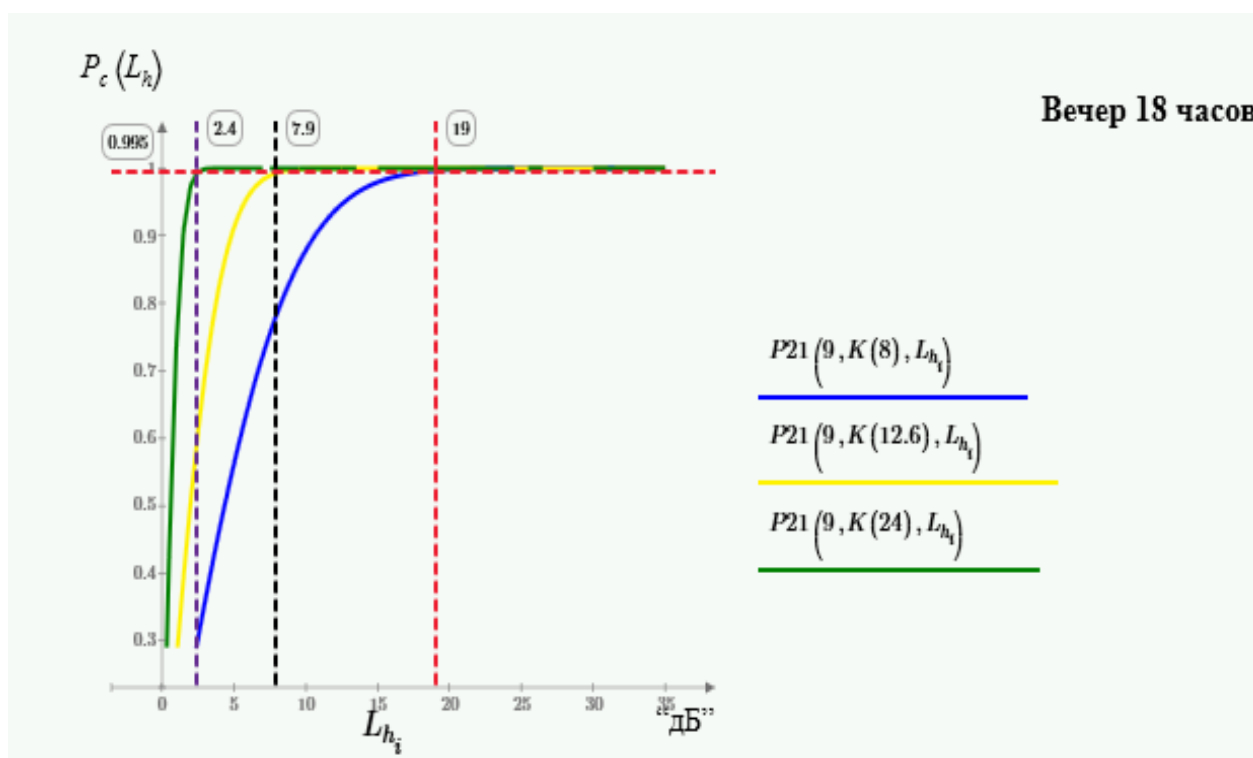


Рис. 4. График зависимости вероятности связи  $P_c(L_h)$  от аврорального поглощения  $L_h$  на 18 часов вечера, соответствующий суточному минимуму, от рабочей частоты  $f_o$

Для данной широты применён нормальный закон распределения, описываемый правой ветвью, что отмечено на графиках  $P_{21}(9, K(8), L_h)$ , где 5,11,9 – соответствует порядковому номеру графиков, начиная с 0 ч. до 22 ч., графики программно строятся на каждые 2 часа,  $K$  – коэффициент, определяемый формулой (6), а 8, 12,6 и 24 – номиналы рабочих частот  $f_o$ , для которых и производился расчёт.

Данные графики представляют собой интегральные кривые зависимости вероятности связи  $P_c$  от аврорального поглощения  $L_h$  (дБ). При этом более высокие значения вероятности связи  $P_c$  обозначает процент времени обеспечения связи, максимальное значение которого будет наблюдаться при превышении более высокого значения поглощения  $L_h$  для конкретно выбранной частоты  $f_o$ . Так при частоте  $f_o = 24$  МГц значение аврорального поглощения  $L_h$  составляет 3,5 дБ для 12 часов утра (рис. 2) и 2,4 дБ для 22 и 18 часов вчера (рис. 3, 4) соответственно при вероятности связи  $P_c = 0,995$ , а при частоте  $f_o = 8$  МГц значение аврорального поглощения  $L_h$  принимает максимальные значения 27 дБ для 12 часов утра и 19,2 дБ для 22 часов и 19 дБ для 18 часов соответственно. Полученные результаты свидетельствует о том, что, чем выше рабочая частота  $f_o$ , тем меньше значение аврорального поглощения  $L_h$ .

### Заключение

Разработанная методика в среде программирования *Mathcad* на основе метода расчета энергетических потерь на высокоширотных радиоперелиниях позволяет:

1. Уточнить и спрогнозировать энергетические потери на высокоширотных ДКМ радиоперелиниях в условиях аврорального поглощения с учётом выбранной геомагнитной широты  $\Phi'$ , местного времени  $t$ , солнечной активности  $W$  и сезона года  $\delta$ ;
2. Получить зависимость вероятности связи  $P_c$  от значения аврорального поглощения  $L_h$  с учётом выбранной рабочей частоты  $f_o$ .

Полученные результаты показывают преимущество предлагаемого метода расчета энергетических потерь на высокоширотных радиоперелиниях ДКМ, вызванных авроральным

поглощением, по сравнению с методом прогнозирования уровней сигнала и показателей надежности ВЧ-систем в соответствии с рекомендацией МСЭ-R P.533-14 Международного Союза Электросвязи (ITU) [9], поскольку для условий высоких широт при повышенной возмущенности представленные в табл. 1 средние значения  $L_h$  недостаточно чувствительны к изменениям, соответствующим возмущенной ионосфере, которые необходимо учитывать в интересах устойчивого управления подвижными объектами ВМФ в Арктической зоне.

### Литература

1. Морская доктрина Российской Федерации, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 31 июля 2022 г. № 512.
2. Акулов В.С., Талагаев В.И. Структура земной волны над ледовыми трассами в Арктических районах // Техника средств связи. 2021. № 4 (156). С. 34-43.
3. Акулов В.С., Талагаев В.И., Угрик Л.Н. Оценка зон обслуживания систем радиосвязи с земной волной в Арктических районах // Техника средств связи. 2022. № 1(157), С. 53-60,
4. Акулов В.С., Талагаев В.И., Угрик Л.Н. Методология оценки влияния преднамеренных помех на радиотехнические системы // Техника средств связи. 2021. № 3 (155). С. 2-9.
5. Акулов В.С., Талагаев В.И. Анализ дальности связи и глубины приема сигналов на сверхдлинных волнах // Техника средств связи. 2022. № 3(159). С. 9-14.
6. ГОСТ РВ 0158-006-2018. Связь военная. Термины и определения. М.: Национальный военный стандарт Российской Федерации – Введ. 01.03.2019 года.
7. Жулина Е.М. Дополнительные энергетические потери на высокоширотных радиоперелиниях. – М.: Наука, 1983. 208 с.
8. Жулина Е.М., Кища П.В. О характере статистических распределений поглощения в высоких широтах - В кн.: Ионосферное прогнозирование. М.: Наука, 1982. С. 178-183.
9. Международная эталонная модель ионосферы IRI // The International Reference Ionosphere. URL: <http://irimodel.org/R-REC.-P.533-14-R> (дата обращения: 18.10.2022).

### References

1. Maritime Doctrine of the Russian Federation, approved by Decree of the President of the Russian Federation dated July 31, 2022 No. 512. (in Russian).
2. Akulov V.S., Talagaev V.I. The structure of the earth wave over ice routes in the Arctic regions. Means of Communication Equipment. 2021. No. 4 (156). Pp. 34-43. (in Russian).
3. Akulov V.S., Talagaev V.I., Ugrik L.N. Assessment of the service areas of radio communication systems with the Earth wave in the Arctic regions. Means of Communication Equipment. 2022. No. 1 (157). Pp. 53-60. (in Russian).
4. Akulov V.S., Talagaev V.I., Ugrik L.N. Methodology for assessing the impact of intentional interference on radio engineering systems. Means of Communication Equipment. 2021. No. 3 (155). Pp. 2-9. (in Russian).
5. Akulov V.S., Talagaev V.I. Analysis of communication range and depth of reception of signals on ultra-long waves. Means of Communication Equipment. 2022. No. 3 (159). Pp. 9-14. (in Russian).
6. GOST RV 0158-006-2018. Military communication. Terms and definitions. Moscow. National Military Standard of the Russian Federation – Introduction 01.03.2019 of the year. (in Russian).
7. Zhulina E.M. Additional energy losses on high-latitude radio links. Moscow. Science publ., 1983. 208 p. (in Russian).
8. Zhulina EM, Kischka P.V. On the nature of statistical distributions of absorption in high latitudes - V book: Ionospheric forecasting. Moscow. Science publ., 1982, S. 178-183. (in Russian).
9. IRI/The International Reference Ionosphere. URL: <http://irimodel.org/R-REC.-P.533-14-R> (accessed date: 18.10.2022). (in Russian).

Статья поступила 15 февраля 2023 года

### Информация об авторах

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

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

*Полуян Андрей Михайлович* – Адъюнкт ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,

Адрес: 198510, Россия, Санкт-Петербург, ул. Развозная, д. 17. Тел. 8(812)450-67-14.  
E-mail: poluyan86@list.ru.

*Талагаев Владимир Иванович* – Кандидат технических наук. Старший научный сотрудник, профессор Академии военных наук. Ведущий научный сотрудник ПАО «Интелтех».

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8. Тел. +7(812)448-96-50.  
E-mail: intelteh@inteltech.ru.

### Technique of assessment of power losses of decameter radio lines in the high latitudes caused by auroral absorption

I. A. Kuleshov, A. M. Poluyan, V. I. Talagaev

**Annotation:** *In recent decades, the development of the Arctic in research, economic and military interests has required the corresponding development of the telecommunications infrastructure of the Arctic region. Particular attention is paid to studies of the peculiarities of the spread of radio waves in the Arctic in order to develop energy-efficient systems and means of Arctic radio communication. The technique for estimating the energy loss of decameter radio links at high latitudes presented in this paper was developed in the Mathcad programming environment. The method allows you to clarify the value of the auroral absorption coefficient taking into account the selected geomagnetic latitude, local time, solar activity, season of the year and the operating frequencies used for communication. Quantitative estimates obtained with the help of the method increase the accuracy of predicting energy losses in decameter radio communication links, allow numerically to assess and select energy and probability-time characteristics of the sample of the designed radio lines of the decameter wave range for the Arctic region.*

**Keywords:** *Arctic radio communication, decameter wave communication, ultraviolet and corpuscular radiation of the Sun, auroral absorption.*

### Information about Authors

*Igor Aleksandrovich Kuleshov* – The deputy of general director of PJSC "Inteltech" on scientific work. Dr.Sci.Tech., the senior lecturer. Field of research: Control systems and communications. Tel.: +7 (812)542-90-54. E-mail: KuleshovIA@inteltech.ru.

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

*Andrey Mikhailovich Poluyan* – Postgraduate student VUNC Navy "Naval Academy". Тел.: +7 (812)450-67-14, E-mail: poluyan86@list.ru.

Address: 198510, Russia, St. Petersburg, Razvoznay str. 17.

*Vladimir Ivanovich Talagaev* – Candidate of Technical Sciences. Senior Researcher, professor of the Academy of Military Sciences. Leading researcher at PJSC «Inteltech». Tel. +7 (812) 448-96-50. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

**Для цитирования:** Кулешов И. А., Полуян А. М., Талагаев В. И. Методика оценки энергетических потерь декаметровых радиолоний в высоких широтах, вызванных авроральным поглощением // Техника средств связи. 2023. № 1 (161). С.19-28. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1- 19-28.

**For citation:** Kuleshov I. A., Poluyan A. M., Talagaev V. I. Technique of assessment of power losses of decameter radio lines in the high latitudes caused by auroral absorption. Means of Communication Equipment. 2023 No. 1 (161). Pp.19-28. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-19-28. (in Russian).

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

УДК 621.396

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-29-47

**Оценка зоны обслуживания системы NAVTEX в Восточно-Сибирском море**

Ильмер Д. В., Помазунов С. А., Исламов А. И.

**Аннотация: Введение:** В научной литературе уделяется большое внимание анализу работы систем радиосвязи в арктических районах, что связано с необходимостью создания и развёртывания арктических телекоммуникаций гражданского и военного назначения. При этом в целях прогнозирования зон покрытия связью предполагаемых к развёртыванию и строительству телекоммуникаций проводятся теоретические исследования с количественной оценкой и анализом полученных результатов. Особый интерес вызывает расчёт зон действия связи проектируемых объектов телекоммуникаций. **Целью работы** является количественный анализ дальностей радиоприема сигналов службы NAVTEX по доведению информации о безопасности мореплавания в ближней морской зоне в режиме узкополосной буквопечатающей телеграфии при связи земной волной. **Результат:** заключается в определении размеров зоны покрытия в Восточно-Сибирском море от проектируемой к строительству радиостанции службы NAVTEX в г. Певек с учётом эффективной излучённой мощности радиопередающего устройства, отношения сигнал/шум на входе приёмных устройств на судах и особенностей распространения земной волны на трассах с однородной и комбинированной подстилающей поверхностью в зависимости от азимутальных направлений и времени года (суша, море, морской пресноводный лёд). **Практическая значимость:** выполненные результаты расчёта позволяют предварительно оценить, где на трассах Северного морского пути в Восточно-Сибирском море после постройки радиостанции в г. Певек суда будут обеспечены информацией по безопасности мореплавания, а где останутся зоны недоступности этой информации для судов. Это позволяет планировать дальнейшее развёртывание службы NAVTEX на Арктическом побережье с целью повышения обеспеченности ею судоходства на трассах Северного морского пути.

**Ключевые слова:** арктическая радиосвязь, поверхностная волна, напряженность поля, уровень внешнего шума, параметры подстилающей поверхности, коэффициент усиления, отношение сигнал/шум, дальность связи, зоны обслуживания системы.

**Введение**

В ряде работ [1, 2] в интересах разработки систем радиосвязи в Арктике с применением земной волны были выполнены теоретические исследования с детальным количественным анализом распространения радиоволн над ледовыми подстилающими поверхностями и смешанными трассами Северного морского пути. Развитием данных исследований является работа [3], в которой выполнена количественная оценка размера зон покрытия радиосвязью систем с земной волной на основе метода сравнительного количественного анализа предельных дальностей радиоприема. В результате выполненных исследований в [3] были получены размеры возможных зон покрытия морского участка трассы в зависимости от удаления передатчика от береговой черты (для двухкусочной трассы типа «суша-море») для телефонной радиосвязи. В данной статье расчёты зон радиоприема сигналов службы NAVTEX представляют интерес с точки зрения прямой практической привязки к проектируемому объекту.

**Метод оценки предельной дальности**

Дальность передачи, достигаемая передатчиком, зависит от мощности излучения, потерь сигнала при распространении и способностью приемника отделять требуемый сигнал от шума и помех.

Поскольку в зависимости от периода года, времени суток очень сильно меняется дальность распространения радиоволн, площадь покрытия устойчивой средневолновой радиосвязью не является постоянной величиной и должна рассчитываться для наихудших условий.

Не все направления распространения радиосигнала от радиопередающей станции (РПДС) Певек в Восточно-Сибирском море проходят над однородной подстилающей поверхностью (над морем). Часть радиотрассы до судов проходит над сушей материка в районе Певека, над островом Врангеля и над островом Айон. Поэтому расчеты должны выполняться для разных направлений с учетом изменений подстилающей поверхности на трассе распространения радиоволны:

- 1) Однородная трасса: морская поверхность.
- 2) Неоднородная трасса: суша – море, море – суша – море, суша – море – суша – море.
- 3) Однородная трасса: пресноводный лед (для зимних условий).
- 4) Неоднородная трасса: пресноводный лед – море (для весенне-осенне-зимних условий).

Различные виды поверхности Земли имеют различные электродинамические параметры, влияющие на прохождение радиоволн. Средние значения эквивалентных электрических параметров для различных видов поверхности Земли в соответствии с [4] приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения эквивалентных электрических параметров для различных видов поверхности Земли

| Вид земного покрова                          | $\epsilon$ | $\sigma$ , См/м   |
|--|------------|-------------------|
| Морская вода, низкая соленость               | 80         | 1,0               |
| Морская вода средней солености               | 70         | 5,0               |
| Пресная вода рек и озер                      | 80         | $3 \cdot 10^{-3}$ |
| Суша 1                                       | 40         | $3 \cdot 10^{-2}$ |
| Влажная почва                                | 30         | $1 \cdot 10^{-2}$ |
| Суша 2                                       | 22         | $3 \cdot 10^{-3}$ |
| Среднесухая почва                            | 15         | $1 \cdot 10^{-3}$ |
| Сухая почва                                  | 7          | $3 \cdot 10^{-4}$ |
| Очень сухая почва                            | 3          | $1 \cdot 10^{-4}$ |
| Пресноводный лед ( $t = -1^\circ\text{C}$ )  | 3          | $3 \cdot 10^{-5}$ |
| Пресноводный лед ( $t = -10^\circ\text{C}$ ) | 3          | $1 \cdot 10^{-5}$ |

Уровни различных составляющих сигнала меняются со временем в зависимости от условий распространения сигнала, поступая, таким образом, на принимающую антенну в различном соотношении. Конструкция конечного устройства должна, следовательно, обеспечивать превышение уровня сигнала над уровнем шума на приемлемую величину в течение приемлемого интервала времени. Величина этого интервала называется доступностью и определяется поведением сигнала и шума в зависимости от времени [5].

Уравнение (1) [5] должно использоваться при вычислении верхнего значения  $F_a$  для фактора внешнего шума, влияющего на требуемую доступность:

$$F_a = F_{am} + \sqrt{D_t^2 + D_s^2} \text{ дБ выше } kT_0B, \quad (1)$$

где:  $F_{am}$  – средний коэффициент внешнего шума;

$D_s$  – колебание уровня сигнала, ожидаемое в течение рассматриваемого промежутка времени, к которому применимо значение в 3 дБ, определяемое международной морской организацией (ИМО) в качестве запаса замириания;

$D_t$  – колебание уровня шума, ожидаемое для требуемого отрезка времени.

Значения  $F_{am}$  находятся по графикам и формулам, приведённым в [6].

Для определения дальности работы системы NAVTEX и качества связи расчеты выполняются для мощности передатчиков 1,0 кВт по Рекомендациям [4, 5] при распространении радиосигнала земной волной. Эффективная излучаемая мощность  $P_{emrp}$  определяется формулой:

$$P_{emrp} = P_{прд} \cdot A_{эфф} = P_{прд} \cdot G_{из} \cdot \eta, \quad (2)$$

где  $A_{эфф}$  – эффективность антенны, определяемая коэффициентами усиления антенны  $G_{из}$  и полезного действия антенны  $\eta$ .

За граничное значение дальности радиосвязи принята дальность, при которой напряженность поля  $E(d)$  будет не меньше требуемого порогового значения [4]:

$$E_{пор} = E_n + BP_{экв} + SN + \delta_{зап} - 1, \quad (3)$$

где  $E_n$  – напряженность поля шума на приемной стороне, определяемая формулой:

$$E_n = F_a + 20 \cdot \log f + 10 \cdot \log b - 95,5, \text{ дБ}, \quad (4)$$

где:  $F_a$ , дБ – коэффициент внешнего шума для требуемой доступности, найденный ранее и равный 94,9 дБ;

$f$  (МГц) – частота сигнала;

$b$  (Гц) – полоса частот сигнала;

$BP_{экв} = 10 \cdot \log(1000 / P_{emrp} \text{ (Вт)})$  (дБ) – поправка, учитывающая отличие фактически излучаемой мощности  $P_{emrp}$  (Вт) от мощности 1 кВт, для которой составлены графики напряженности поля;

$SN$  (дБ) – требуемое соотношение сигнал/шум на входе приемника для обеспечения необходимого качества связи;

$\delta_{зап} = 10$  дБ – запас на различия в коэффициенте усиления и на неудовлетворительное качество обслуживания судовых антенн в соответствии с Рекомендацией [5].

Определение дальности приёма сигналов NAVTEX для однородных трасс (морская поверхность и пресноводный лёд) производится по графикам из приложения 1 Рекомендации [4] по  $P_{emrp}$  и  $E(d)$  не меньшей  $E_{пор}$ .

В случае расположения антенны NAVTEX вдали от уреза акватории трасса является смешанной и состоит из двух частей – наземной  $S_1(\sigma_1, \epsilon_1)$  и морской  $S_2(\sigma_2, \epsilon_2)$  (рис. 1).

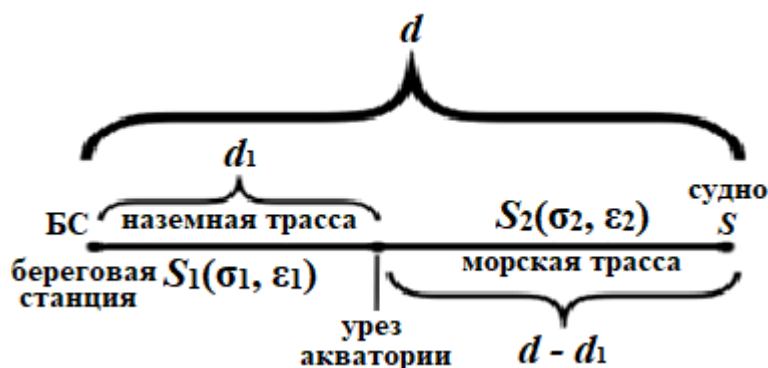


Рис. 1. Схема смешанной трассы

Для расчета такой трассы необходимо произвести расчет общей напряженности поля вдоль трассы  $E(d)$  с помощью метода Миллингтона, приведенного в приложении 2 Рекомендации [4]. Для смешанной трассы, состоящей из двух участков – наземного  $S_1$  протяженностью  $d_1$  с параметрами  $\sigma_1, \epsilon_1$  и морского  $S_2$  протяженностью  $d_2$  с параметрами  $\sigma_2, \epsilon_2$  суммарная напряженность поля  $E(d)$  в зависимости от общего расстояния  $d = d_1 + d_2$  определяется формулой:

$$E(d) = \begin{cases} E_{S_1}(d) - \text{при } d \leq d_1; \\ 0,5(E_R(d) + E_T(d)) - \text{при } d > d_1, \end{cases} \quad (5)$$

где:  $E_R(d) = E_{S_1}(d_1) - E_{S_2}(d_1) + E_{S_2}(d)$ ;

$E_T(d) = E_{S_2}(d - d_1) - E_{S_1}(d - d_1) + E_{S_1}(d)$ ;



$E_{S_1}(d)$  – напряженность поля, рассчитанная для подстилающей поверхности  $S_1$  с параметрами  $\sigma_1$  и  $\epsilon_1$  на дистанции  $d$ ;

$E_{S_2}(d)$  – напряженность поля, рассчитанная для подстилающей поверхности  $S_2$  с параметрами  $\sigma_2$  и  $\epsilon_2$  на дистанции  $d$ ;

$d_1$  – протяженность участка наземной трассы (расстояние от места установки антенны береговой станции до уреза акватории).

В случае, когда количество участков трассы больше двух (рис. 2), например наличие дополнительного участка суши над островом в море, метод Миллингтона предполагает [4], что для участков трассы  $S_1, S_2, S_3$  и т. д., каждый из которых по отдельности считается однородным, имеются кривые распространения для различных типов местности, соответствующей этим участкам, причем все они получены для одного и того же источника излучения ( $T$ ), определенного, например, посредством указанной кривой, обратно пропорциональной расстоянию.

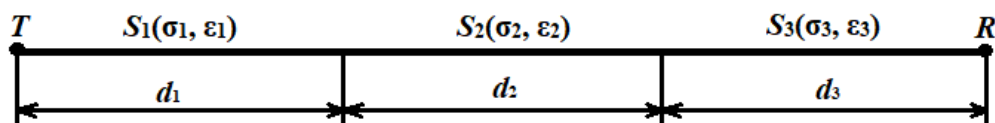


Рис. 2. Схема смешанной трассы из 3-х участков

Для заданной частоты выбирается кривая из приложения 2 Рекомендации [4], соответствующая участку  $S_1$  и далее определяется поле  $E_1(d_1)$  в дБ (мкВ/м) на расстоянии  $d_1$ . После этого используется кривая, соответствующая участку  $S_2$ , для определения полей  $E_2(d_1)$  и  $E_2(d_1+d_2)$  и, аналогичным образом, по кривой для участка  $S_3$  определяются поля  $E_3(d_1+d_2)$  и  $E_3(d_1+d_2+d_3)$  и т. д.

Напряженность поля принимаемого сигнала,  $E_R$ , определяется как [4]:

$$E_R(d) = E_1(d_1) - E_2(d_1) + E_2(d_1+d_2) - E_3(d_1+d_2) + E_3(d_1+d_2+d_3). \quad (6)$$

Далее осуществляется обратная процедура, и, обозначив через  $R$  передатчик, а через  $T$  приемник, получим напряженность поля  $E_T$  с помощью следующего уравнения [4]:

$$E_T(d) = E_3(d_3) - E_2(d_3) + E_2(d_3+d_2) - E_1(d_3+d_2) + E_1(d_3+d_2+d_1). \quad (7)$$

Требуемое значение поля  $E(d)$  определяется как  $0,5 \cdot [E_R + E_T]$ , причем очевидна применимость метода к большему числу участков.

Дальность прохождения сигнала NAVTEX определялась  $E(d)$ , которое должно быть не меньше  $E_{пор}$ .

### Исходные данные

Критерии, разработанные международной морской организацией для определения границ действия системы NAVTEX [5], представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Рабочие характеристики для передач NAVTEX

| Параметры   | NAVTEX             |
|---|--------------------|
| Частота (кГц)   | 490 и 518          |
| Ширина полосы (Гц)  | 300                |
| Распространение   | Земная волна       |
| Эффективность корабельной антенны (%)                           | 25                 |
| Отношение сигнал/шум ( $S/N$ ) для полной ширины полосы ВЧ (дБ) | 8                  |
| Средняя не пиковая мощность Тх (дБ)                             | 0                  |
| Запас замиранья (дБ)  | 3                  |
| Регулирующие документы МСЭ                                      | Рез. А.801(19) [7] |
| Требуемая доступность (%)                                       | 90                 |

Уровень палубного шума из [5] принят минус 142 дБВт.

КПД передающей антенны береговой станции  $\eta = 0,7$ .

Коэффициент усиления передающей антенны относительно изотропного излучателя  $G_{iz}$  дБ = 1,5 дБи = 1,41 раза.

Подстилающая поверхность из табл. 1:

– море средней солености –  $\sigma = 5$  S/m,  $\varepsilon = 70$ ;

– суша 2 –  $\sigma = 3 \cdot 10^{-3}$  S/m,  $\varepsilon = 22$ ;

– пресноводный лёд –  $\sigma = 1 \cdot 10^{-5}$  S/m,  $\varepsilon = 3$ .

Мощность передатчика  $P_{\text{прд}} = 1$  кВт.

### Расчет уровня шумов в точке приема

Определение граничных значений дальности радиосвязи производится на основе рассчитанного наихудшего (максимального) значения коэффициента шума  $F_a$ . Найдем максимальный шум во всех возможных местах нахождения судов – в точках приема NAVTEX.

Рассмотрим нахождение судов в различных точках моря. Координаты судов, принимающих передачи NAVTEX приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Координаты судов

| № п/п | Азимут от РПДС Певек | Координаты (градусы, минуты, секунды) | Координаты (градусы и доли градуса) |
|-------|----------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 1     | 0 гр.                | 77° 08' 00'' с.ш. 170° 18' 40'' в.д.  | 77,14 с.ш. 170,31 в.д.              |
| 2     | 15 гр.               | 76° 45' 09'' с.ш. 178° 45' 00'' в.д.  | 76,7525 с.ш. 178,75 в.д.            |
| 3     | 45 гр.               | 72° 22' 20 с.ш. 180° в.д.             | 72,37 с.ш. 180 в.д.                 |
| 4     | 90 гр.               | 69° 23' 44'' с.ш. 180° в.д.           | 69,4 с.ш. 180 в.д.                  |
| 5     | 270 гр.              | 68° 24' 40'' с.ш. 149° 39' 06'' в.д.  | 68,41 с.ш. 149,65 в.д.              |
| 6     | 320 гр.              | 74° 39' 16'' с.ш. 151° 56' 17'' в.д.  | 74,65 с.ш. 151,94 в.д.              |
| 7     | 350 гр.              | 76° 57' 30'' с.ш. 164° 34' 59'' в.д.  | 76,96 с.ш. 164,58 в.д.              |

Значения  $F_{at}$  атмосферного шума находятся по графикам, приведённым в [6]. Поскольку частоты 490 и 518 кГц близки друг к другу будем использовать приведённую на графиках в [6] частоту 500 кГц.

Атмосферные помехи определялись из графиков на рис. 15 а) – 38 а) и 15 б) – 38 б) [6] для координат судов представленных в табл. 3. Значения атмосферных помех для разного времени года и времени суток для координат судов, представленных в табл. 3, варьировались от 14 до 57 дБ. Наименьшее значение 14 дБ было найдено на графиках рис. 23 а) и 23 б) [6] для весны с 08 до 12 часов для координат судов из табл. 3 под №№ 4 и 5. Наибольшее значение 57 дБ было найдено на графиках рис. 27 а) и 27 б) [6] для лета с 00 до 04 часов для координат судна из табл. 3 под № 4. Для примера расчёта атмосферного шума на рис. 4 представлен рис. 27 а) из [6]. Координаты судна из табл. 3 под № 4 обозначены на рис. 4 красным крестом. Значение атмосферного шума для частоты 1 МГц составляет 45 дБ. На рис. 5 представлен рис. 27 б) из [6], на котором красным крестом обозначено значение атмосферного шума для частоты 0,5 МГц, составляющее 57 дБ, которое соответствует значению 45 дБ для частоты 1 МГц.

Для передач NAVTEX требуется 90 % доступность, поэтому верхнее десятичное приближение  $D_u$  (верхний дециль отклонения от среднего) должно быть подставлено вместо  $D_t$  в уравнение (1) [5]. Значение  $D_u$  (верхний дециль отклонения от среднего) для этого времени года и времени суток, найденное на рис. 27 с) составило 10,2 дБ. Рис. 27 с) из [6] представлен на рис. 6, значение  $D_u$  обозначено красным крестом. Рассчитаем по (1) верхнее значение  $F_a$  для атмосферных помех для этого случая

$$F_a = 57 + \sqrt{3^2 + 10,2^2} = 67,63 \text{ дБ.}$$

Наибольшее значение  $D_u$  (верхний дециль отклонения от среднего) было определено из графиков рис. 15 *c*) – 38 *c*) [6] и оказалось на рис. 25 *c*), соответствующем весне с 16 до 20 часов местного времени. Его значение составило 18,8 дБ. Наибольшее значение атмосферных помех для этого времени года и времени суток для координат судов, представленных в табл. 3, найденное на рис. 25 *a*) и 25 *b*) составило 35 дБ для координат судна из табл. 3 под № 2. Рассчитаем верхнее значение  $F_a$  для атмосферных помех для этого случая

$$F_a = 35 + \sqrt{3^2 + 18,8^2} = 54,04 \text{ дБ.}$$

Таким образом, наибольшее (максимальное) верхнее значение  $F_a$  для атмосферных помех для судов с координатами из табл. 3, найденное по методике [6] из графиков рис. 15 *a*) – 38 *a*), 15 *b*) – 38 *b*) и 15 *c*) – 38 *c*) для всех времён года и времён суток составило 67,63 дБ.

Ожидаемые значения атмосферного радишума  $F_{ат}$   
(в дБ выше  $k T_0 b$  на частоте 1 МГц) (Лето: 0000–0400 ч местного времени)

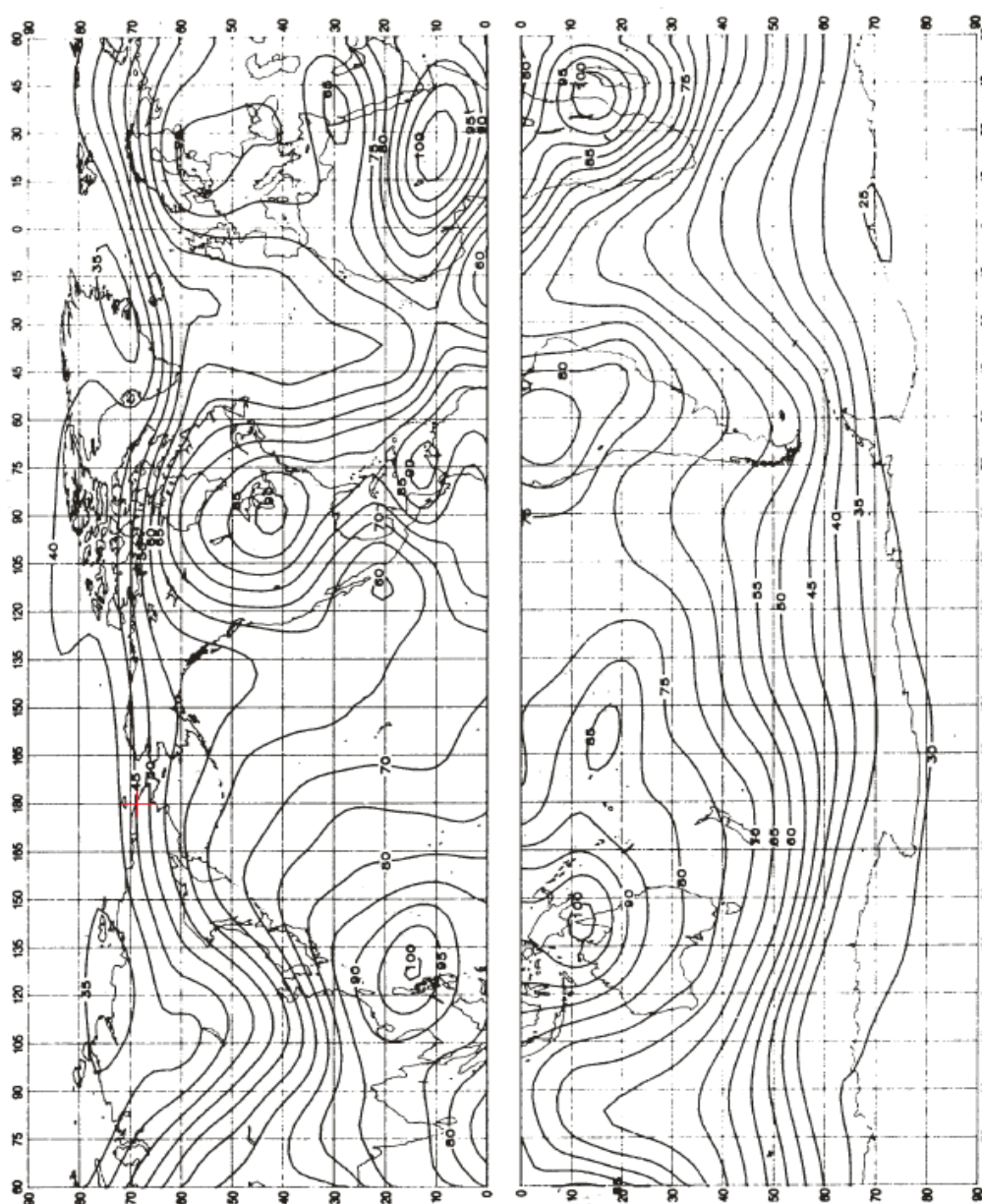


Рис. 4. Ожидаемые значения атмосферного радишума

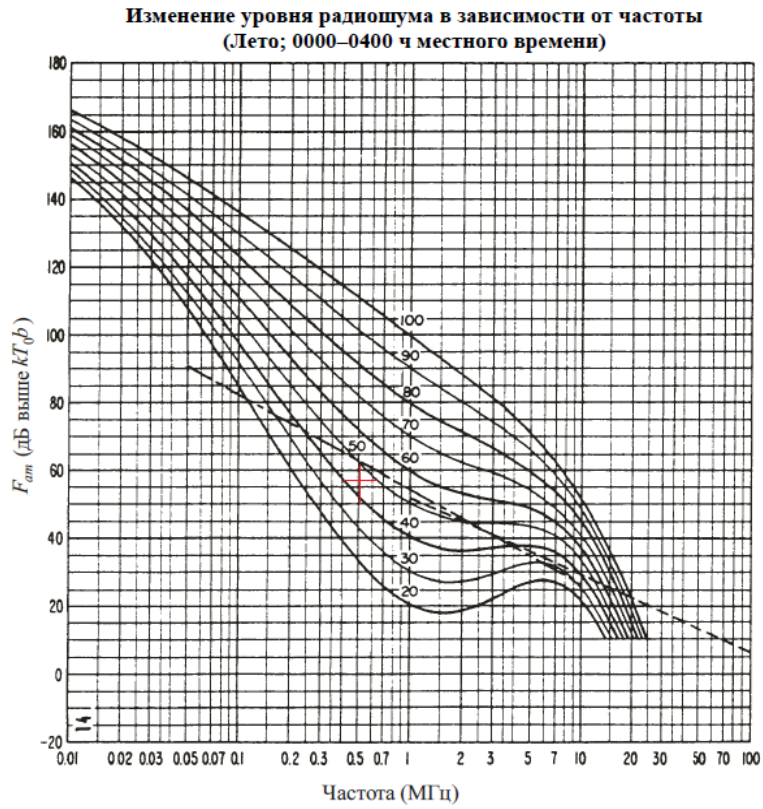


Рис. 5. Изменение уровня радишума в зависимости от частоты

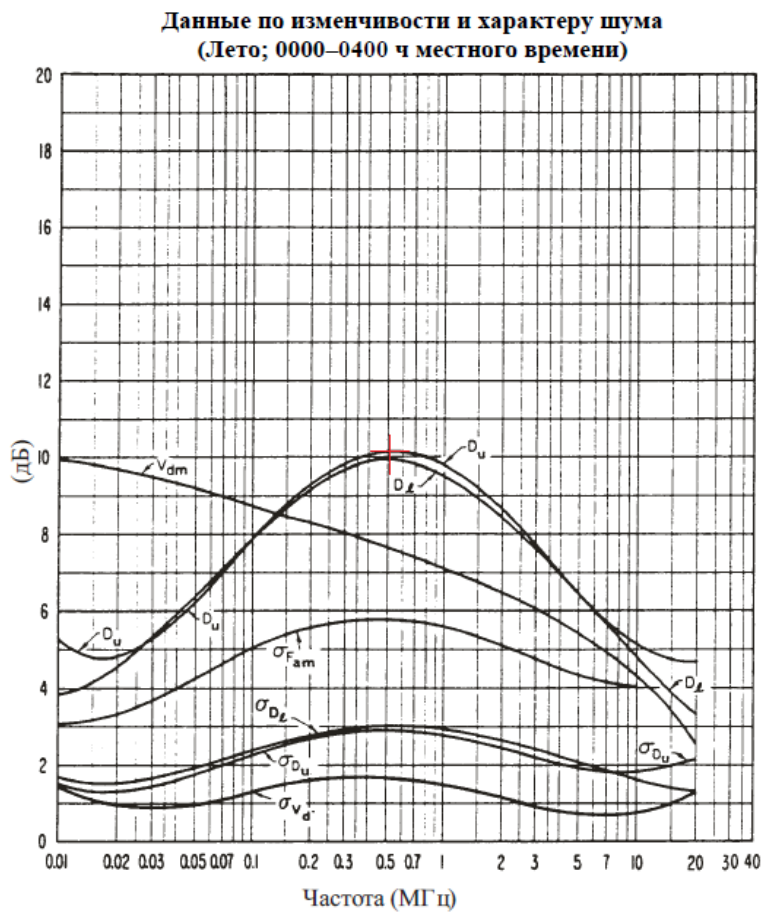


Рис. 6. Данные по изменчивости и характеру шума

Далее найдём коэффициент галактического шума. На частотах приблизительно до 100 МГц медианное значение коэффициента галактического шума для вертикальной антенны, без учета ионосферного экранирования, определяется по формуле [6]:

$$F_{am} = 52 - 23 \log f, \tag{8}$$

где  $f$  – частота в МГц.

Из расчёта по (8) значение коэффициента галактического шума составило 58,9 дБ. Отклонение децилей средней мощности галактического шума составляет  $\pm 2$  дБ [6]. Таким образом, с учётом верхнего дециля значение (максимальное) коэффициента галактического шума составит 60,9 дБ, что меньше наибольшего верхнего значения  $F_a$  для атмосферных помех.

Далее найдём значение промышленного (искусственно созданного человеком) внешнего шума. Значение промышленного внешнего шума  $F_{am}$  было определено по графику рис. 10 из [6] (здесь рис. 7) кривая А – медианное значение промышленного шума в деловой зоне. Значение промышленного внешнего шума на рис. 7 обозначено красным крестом и оно составило 84,7 дБ для частоты 500 кГц.

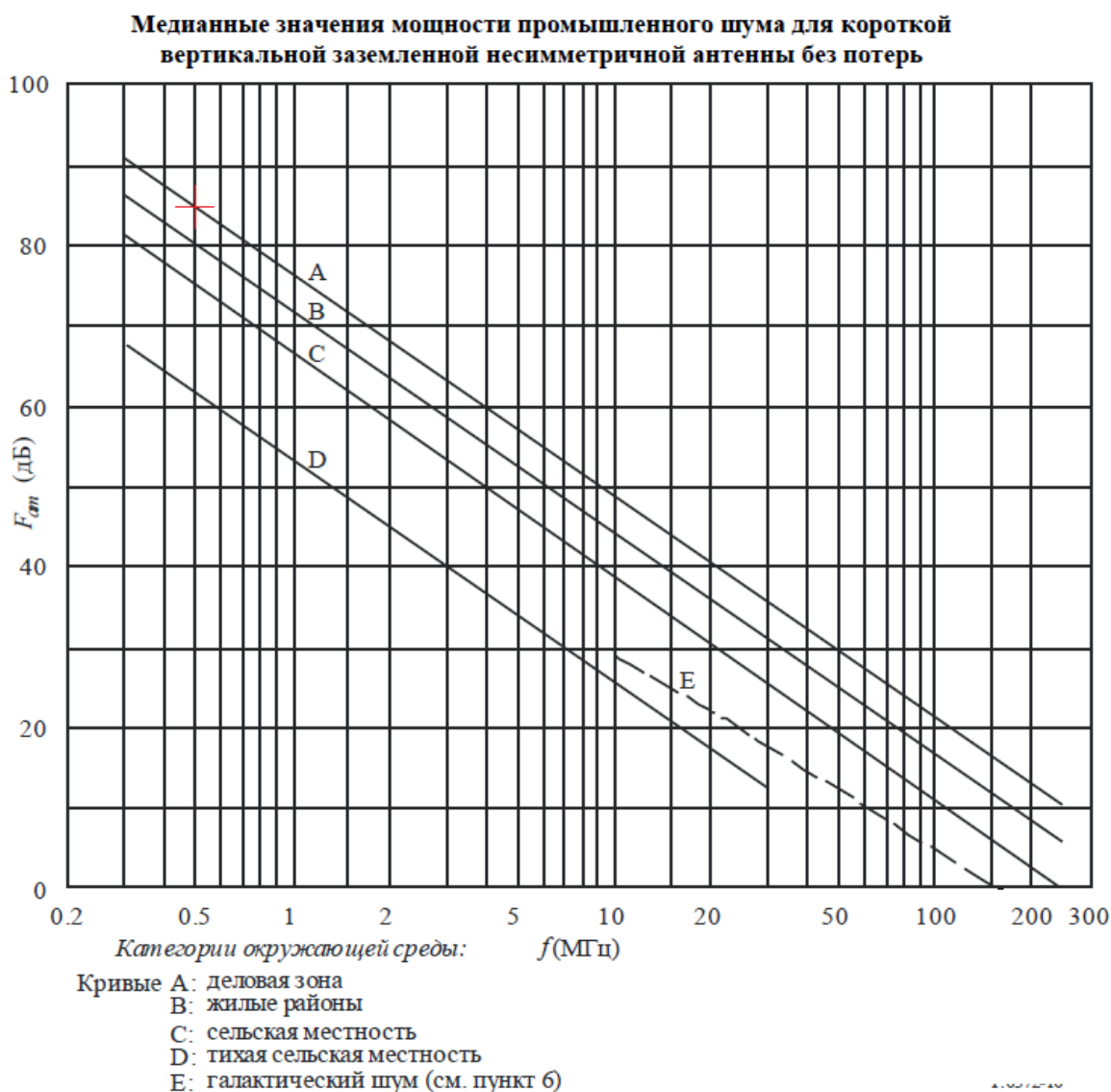


Рис. 7. Медианные значения мощности промышленного шума

Значение  $D_u$  (верхний дециль отклонения от среднего) было определено из табл. 2 [6], которая представлена здесь на рис. 8.

Верхние и нижние значения децилей промышленного шума

| Категория          | Дециль  | Изменение со временем (дБ) | Изменение в зависимости от местоположения (дБ) |
|--------------------|---------|----------------------------|--|
| Деловая зона       | Верхняя | 11,0                       | 8,4  |
|                    | Нижняя  | 6,7                        | 8,4  |
| Жилой район        | Верхняя | 10,6                       | 5,8  |
|                    | Нижняя  | 5,3                        | 5,8  |
| Сельская местность | Верхняя | 9,2                        | 6,8  |
|                    | Нижняя  | 4,6                        | 6,8  |

Рис. 8. Таблица 2 из [6]

Значение  $D_u$  (верхний дециль отклонения от среднего) было определено, как среднее значение от изменения со временем и изменения в зависимости от местоположения и оно составило 9,7 дБ. Определим значение коэффициента промышленного шума  $F_a$ , обеспечивающего требуемую доступность по (1):

$$F_a = 84,7 + \sqrt{3^2 + 9,7^2} = 94,9 \text{ дБ.}$$

Таким образом, наихудшее (максимальное) значение внешнего шума для наших дальнейших расчётов составляет 94,9 дБ.

#### Расчет требуемого порогового значения напряженности поля

Определение граничных значений дальности радиосвязи производится на основе рассчитанного наихудшего (максимального) значения коэффициента шума  $F_a$ , а также исходя из значения эффективной излучаемой мощности антенны с помощью графиков, построенных для значений проводимости и диэлектрической проницаемости различных типов подстилающей поверхности из [4].

Эффективная излучаемая мощность  $P_{emrp}$  определяется по формуле (2):

$$P_{emrp} = P_{прд} \cdot A_{эфф} = P_{прд} \cdot G_{из} \cdot \eta = 1000 \cdot 1,41 \cdot 0,7 = 987 \text{ Вт.}$$

Расчет требуемого порогового значения напряженности поля выполним по (3) и (4):

$$E_n = 94,9 + 20 \cdot \log(0,518) + 10 \cdot \log(300) - 95,5 = 18,4 \text{ дБ,}$$

$$BP_{эКВ} = 10 \cdot \log(1000 / 987) = 0,057 \text{ дБ,}$$

$$E_{пор} = 18,4 + 0,057 + 8 + 10 + 1 = 37,457 \text{ дБ.}$$

Соответственно дальнейшее определение дальностей и зон прохождения сигналов системы NAVTEX будет определяться по  $E(d) > E_{пор} = 37,457 \text{ дБ}$ .

#### Определение дальностей и зон прохождения сигналов системы NAVTEX

Определение дальности прохождения NAVTEX для однородной трассы из морской поверхности производится по графику рис. 2 из [4]. Для  $E(d) = 37,5 \text{ дБ} > E_{пор} = 37,457 \text{ дБ}$  (обозначено на рис. 9 красным крестом) дальность составит около 742 км = 400 м.м.

Определим дальности прохождения NAVTEX для зимних условий местности. Определение дальности NAVTEX для однородной трассы из пресноводного льда производится по графику рис. 11 из [4]. Для  $E(d) = 37,5 \text{ дБ} > E_{пор} = 37,457 \text{ дБ}$  дальность составит около 40 км = 21,59 м.м. (рис. 10).

Определение дальности прохождения NAVTEX для 50 % моря и 50 % льда производится по (5). Значения напряженности поля  $E_{S1}(d)$  для льда и  $E_{S2}(d)$  для моря выбираются из графиков рекомендации [4] на рис. 25, который приведён здесь на рис. 11. Путем нескольких итераций при расчете дальностью прохождения NAVTEX для 50 % моря и 50 % льда будет являться расстояние 160 км (86,35 м.м.), при котором  $E(160 \text{ км}) = 37,75 \text{ дБ} > E_{пор} = 37,457 \text{ дБ}$ . Ниже представлены расчёты по (5).

Кривые распространения земной волны; морская вода, средняя соленость,  $\sigma = 5 \text{ Сл/м}$ ,  $\epsilon = 70$

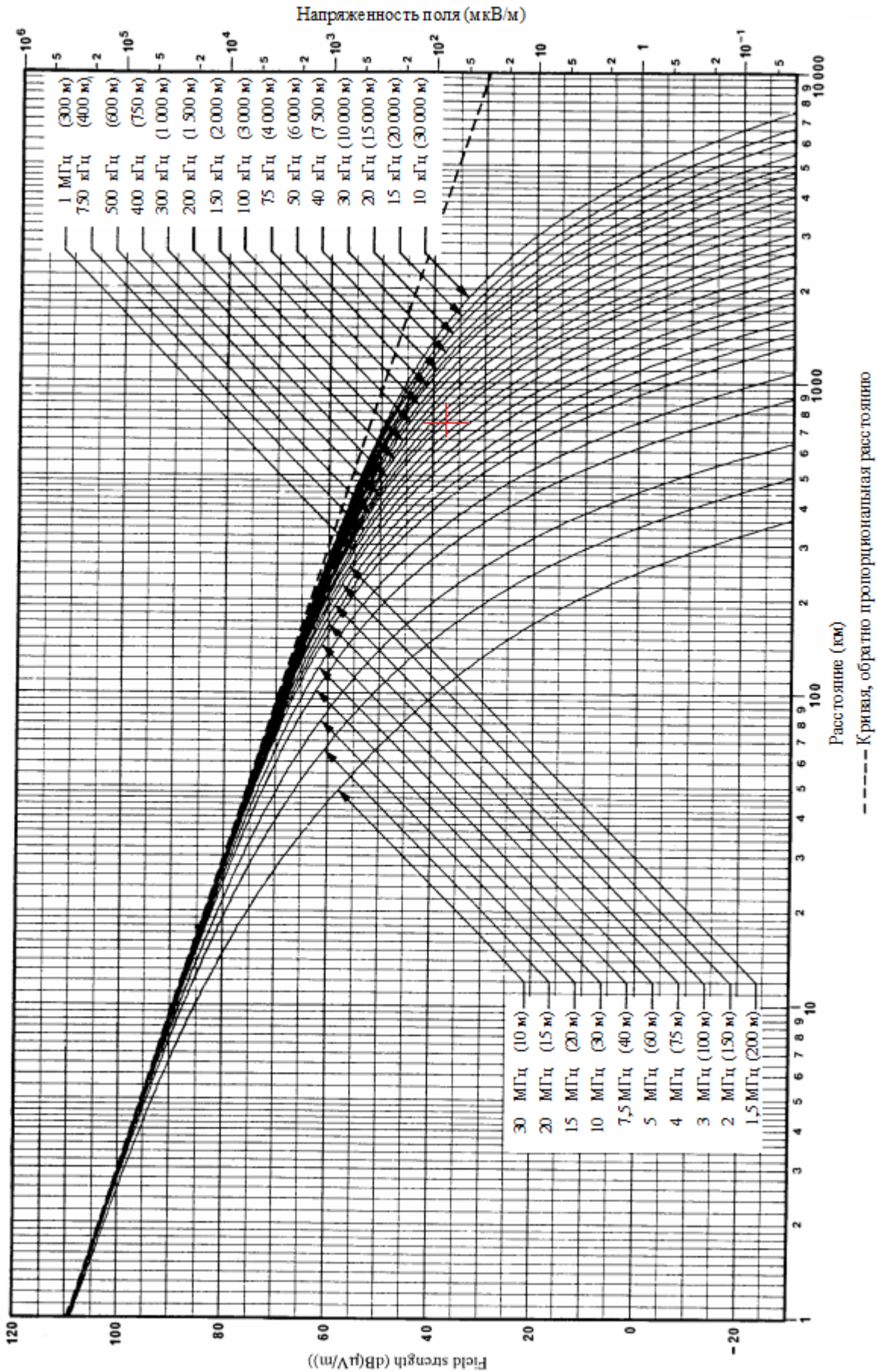
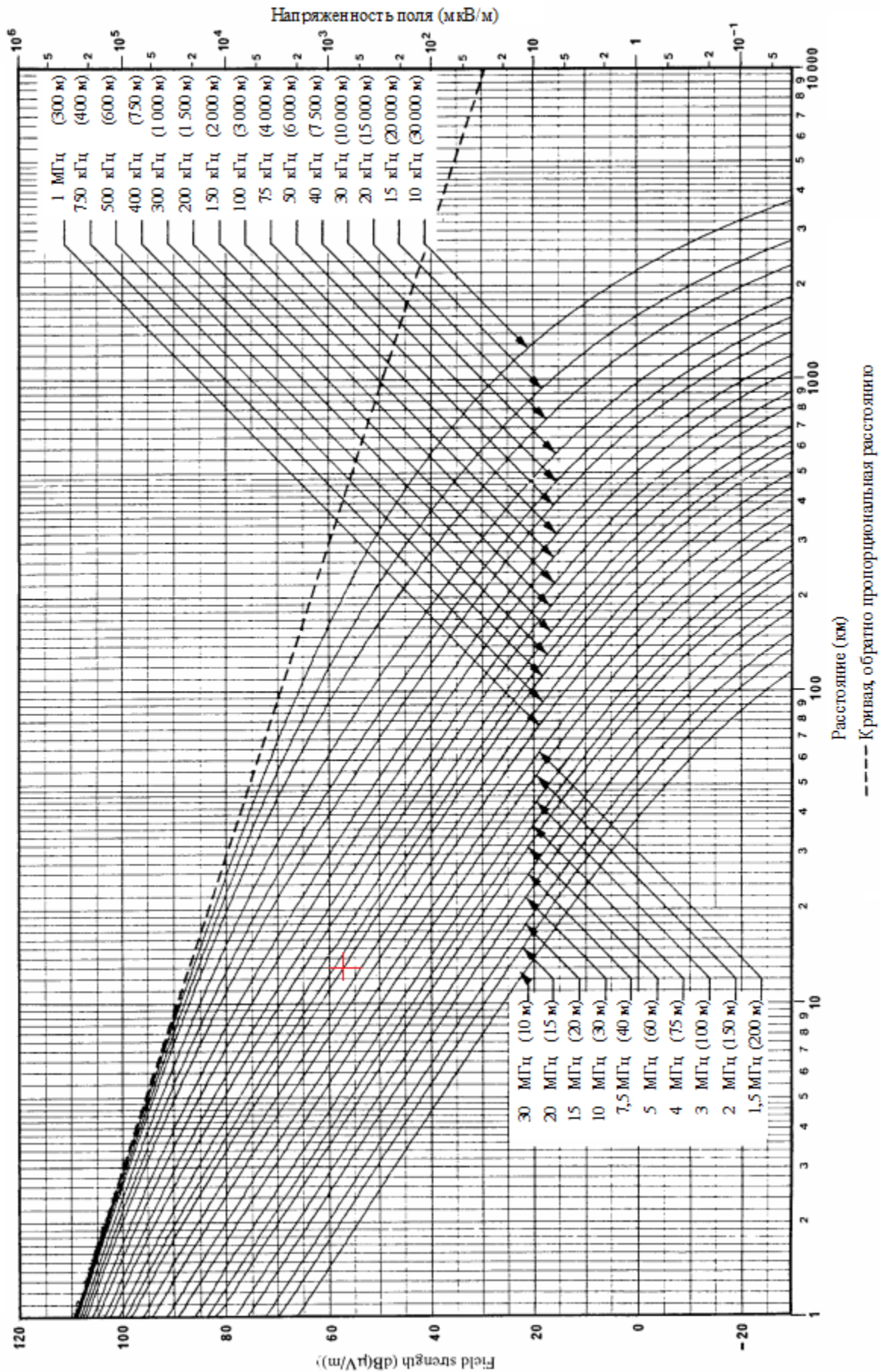


Рис. 9. Кривые распространения земной волны для пресноводного льда морской воды, средняя соленость,  $\sigma = 5 \text{ Сл/м}$ ,  $\epsilon = 70$

Кривые распространения земной волны; пресный лед,  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $\sigma = 10^{-5} \text{ См/м}$ ,  $\epsilon = 3$





Кривые распространения земной волны для различных значений  $\sigma$  и  $\epsilon_r$ .

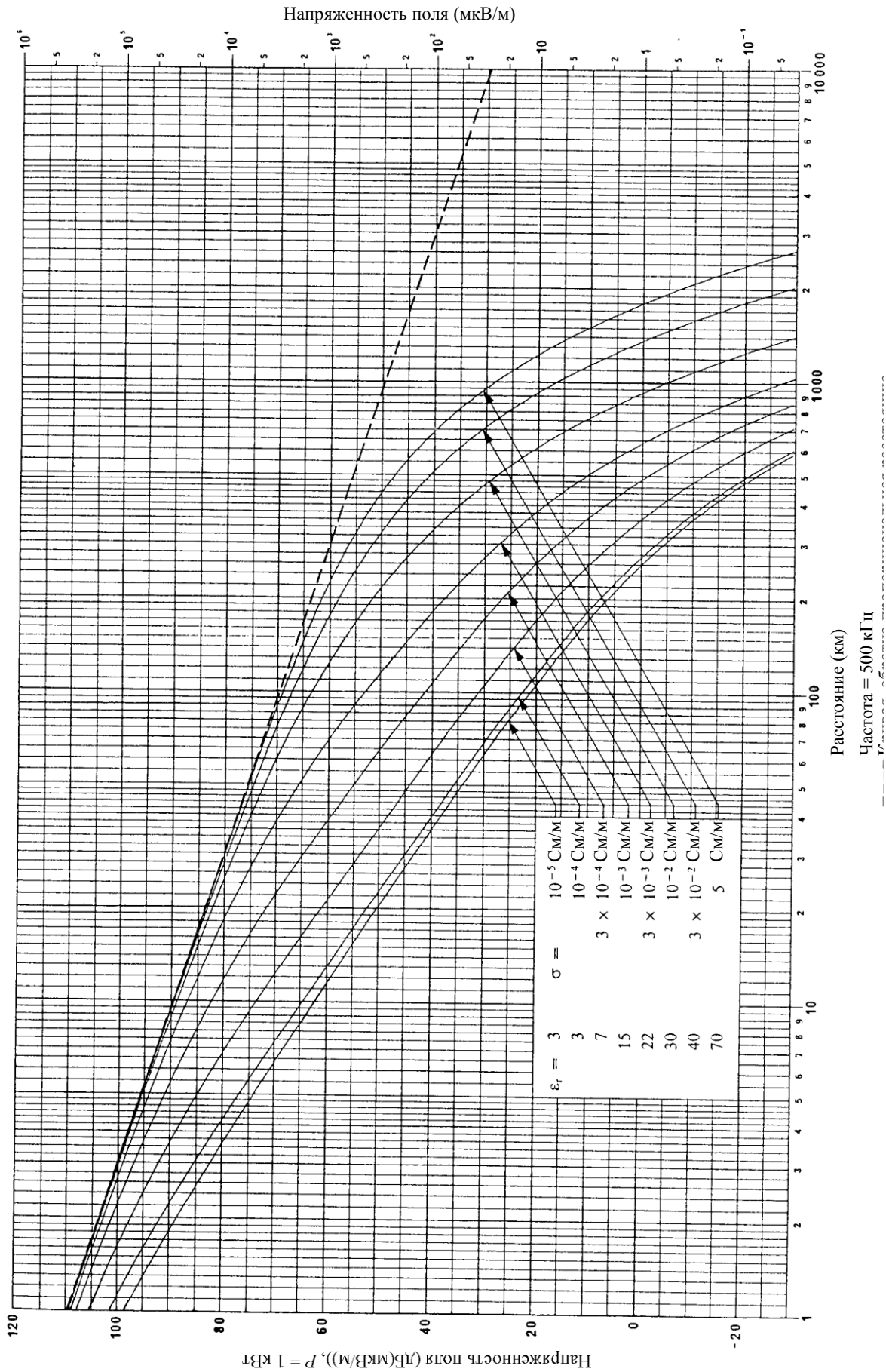


Рис. 11. Кривые распространения земной волны на частоте 500 кГц для различных значений  $\sigma$  и  $\epsilon$

$$E_R(d) = E_{\text{льда}}(80) - E_{\text{моря}}(80) + E_{\text{моря}}(160) = 25 - 7 + 64 = 18 \text{ дБ},$$

$$E_T(d) = E_{\text{моря}}(80) - E_{\text{льда}}(80) + E_{\text{льда}}(160) = 71 - 25 + 11,5 = 57,5 \text{ дБ},$$

$$E(d) = 0,5 \cdot (18 + 57,5) = 37,75 \text{ дБ}.$$

Произведём расчёты зон прохождения NAVTEX по азимутам от береговой станции (БС) Певек там, где трасса не однородная: часть – над сушей, а часть – над морем.

Для азимута  $32^\circ$  от БС протяженность суши в данном направлении составляет 53,2 км. Далее представлены расчёты путем нескольких итераций по (5) из графиков рис. 11.

$$E_R(d) = E_{\text{суши}}(53,2) - E_{\text{моря}}(53,2) + E_{\text{моря}}(610) = 64 - 74 + 43 = 33 \text{ дБ},$$

$$E_T(d) = E_{\text{моря}}(556,8) - E_{\text{суши}}(556,8) + E_{\text{суши}}(610) = 45,2 - 5,2 + 3 = 43 \text{ дБ},$$

$$E(d) = 0,5 \cdot (33,3 + 43) = 38 \text{ дБ} > E_{\text{пор}} = 37,457 \text{ дБ},$$

следовательно, по пеленгу  $32^\circ$  на расстоянии до 610 км (329,19 м.м.) обеспечивается прием сообщений NAVTEX (рис. 12).

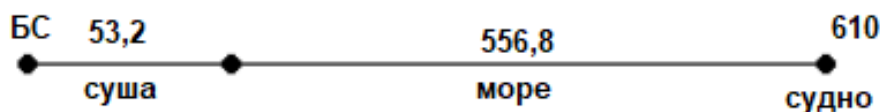


Рис. 12. Схема трассы на азимуте  $32^\circ$  от РПДС Певек

По азимуту  $67^\circ$  от БС пересекается остров Врангеля. Таким образом, земная волна распространяется над четырьмя разными участками: над сушей материка, над морем, над сушей острова Врангеля и снова над морем. Рассмотрим возможность прохождения сообщений NAVTEX через остров Врангеля. Для этого произведём расчёт по (6) и (7) по схеме рис. 13 до окончания суши острова Врангеля из графиков рис. 11.

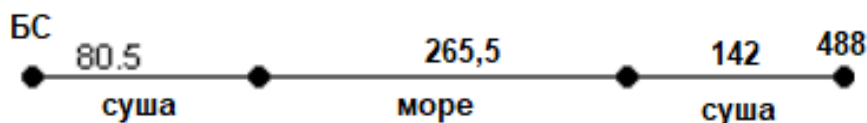


Рис. 13. Схема трассы на азимуте  $67^\circ$  от РПДС Певек

$$E_1(d_1) = E_{\text{суши}}(80,5) = 57 \text{ дБ},$$

$$E_2(d_1) = E_{\text{моря}}(80,5) = 71 \text{ дБ},$$

$$E_2(d_1+d_2) = E_{\text{моря}}(346) = 54,3 \text{ дБ},$$

$$E_3(d_1+d_2) = E_{\text{суши}}(346) = 23 \text{ дБ},$$

$$E_3(d_1+d_2+d_3) = E_{\text{суши}}(488) = 11 \text{ дБ},$$

$$E_3(d_3) = E_{\text{суши}}(142) = 45,2 \text{ дБ},$$

$$E_2(d_3) = E_{\text{моря}}(142) = 65 \text{ дБ},$$

$$E_2(d_3+d_2) = E_{\text{моря}}(407,5) = 50,8 \text{ дБ},$$

$$E_1(d_3+d_2) = E_{\text{суши}}(407,5) = 17,5 \text{ дБ},$$

$$E_1(d_3+d_2+d_1) = E_{\text{суши}}(488) = 11 \text{ дБ},$$

$$E_R(d) = 57 - 71 + 54,3 - 23 + 11 = 28,3 \text{ дБ},$$

$$E_T(d) = 45,2 - 65 + 50,8 - 17,5 + 11 = 24,5 \text{ дБ},$$

$$E(d) = 0,5 \cdot (28,3 + 24,5) = 26,4 \text{ дБ} < E_{\text{пор}} = 37,457 \text{ дБ},$$

следовательно по пеленгу  $67^\circ$  через остров Врангеля будет отсутствовать прием сообщений NAVTEX. Рассмотрим, может ли сигнал NAVTEX проходить до острова Врангеля. Выполним расчёты в соответствии с (5).

$$E_R(d) = E_{\text{суши}}(80,5) - E_{\text{моря}}(80,5) + E_{\text{моря}}(346) = 57 - 71 + 54,3 = 40,3 \text{ дБ},$$

$$E_T(d) = E_{\text{моря}}(265,5) - E_{\text{суши}}(265,5) + E_{\text{суши}}(346) = 58 - 30,9 + 23 = 51 \text{ дБ},$$

$$E(d) = 0,5 \cdot (40,3 + 51) = 45,65 \text{ дБ} > E_{\text{пор}} = 37,457 \text{ дБ},$$

следовательно по пеленгу  $67^\circ$  до острова Врангеля будет устойчивый прием сообщений NAVTEX (рис. 14).

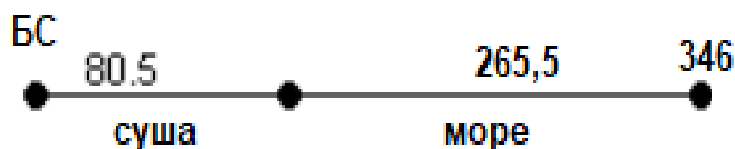


Рис. 14. Схема трассы на азимуте 67° от РПДС Певек

Следовательно, необходимо определить на какое расстояние обеспечивается приём NAVTEX вдоль острова Врангеля, поскольку прохождение от BC над первым участком земли будет иметь разное расстояние вдоль Острова Врангеля слева и справа. Так по пеленгу 57° участок земли от РПДС составит 67,3 км, а по пеленгу 69° – 84,2 км.

По пеленгу 57 градусов от BC расчёты в соответствии с (5) из графиков рис. 11:

$$E_R(d) = E_{\text{суши}}(67,3) - E_{\text{моря}}(67,3) + E_{\text{моря}}(550) = 60,7 - 73 + 45,2 = 32,9 \text{ дБ},$$

$$E_T(d) = E_{\text{моря}}(482,7) - E_{\text{суши}}(482,7) + E_{\text{суши}}(550) = 47,8 - 11,7 + 6 = 42,1 \text{ дБ},$$

$$E(d) = 0,5 \cdot (32,9 + 42,1) = 37,5 \text{ дБ} > E_{\text{пор}} = 37,457 \text{ дБ},$$

следовательно по пеленгу 57° от BC слева вдоль острова Врангеля на расстоянии до 550 км (296,81 м.м.) будет устойчивый прием сообщений NAVTEX (рис. 15).

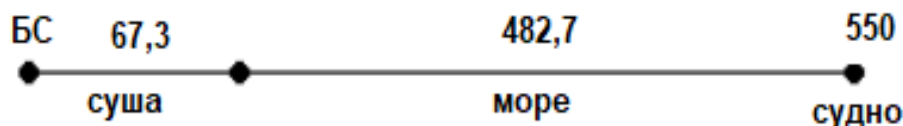


Рис. 15. Схема трассы на азимуте 37° от РПДС Певек

Расчет для азимута 69° от BC:

$$E_R(d) = E_{\text{суши}}(84,2) - E_{\text{моря}}(84,2) + E_{\text{моря}}(500) = 56,5 - 70,5 + 47,5 = 33,5 \text{ дБ},$$

$$E_T(d) = E_{\text{моря}}(415,8) - E_{\text{суши}}(415,8) + E_{\text{суши}}(500) = 50,8 - 18,7 + 10,1 = 42,2 \text{ дБ},$$

$$E(d) = 0,5 \cdot (33,5 + 42,2) = 37,85 \text{ дБ} > E_{\text{пор}} = 37,457 \text{ дБ},$$

следовательно по пеленгу 69° от BC справа вдоль острова Врангеля на расстоянии до 500 км (269,83 м.м.) будет устойчивый прием сообщений NAVTEX (рис. 16).

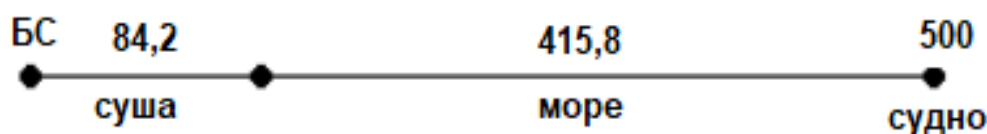


Рис. 16. Схема трассы на азимуте 70° от РПДС Певек

Поскольку с увеличением азимута от BC далее от 69° будет увеличиваться расстояние прохождения трассы над землёй необходимо определить дальность приема сообщений NAVTEX судами в море на азимутах более 70°. Рассчитаем дальность приема сообщений NAVTEX судами в море на азимуте 80° из графиков рис. 11.

$$E_R(d) = E_{\text{суши}}(133) - E_{\text{моря}}(133) + E_{\text{моря}}(375) = 42 - 66 + 52,8 = 28,8 \text{ дБ},$$

$$E_T(d) = E_{\text{моря}}(242) - E_{\text{суши}}(242) + E_{\text{суши}}(375) = 58,8 - 32,3 + 20 = 46,2 \text{ дБ},$$

$$E(d) = 0,5 \cdot (28,8 + 46,2) = 37,5 \text{ дБ} > E_{\text{пор}} = 37,457 \text{ дБ},$$

следовательно по пеленгу 80° от BC справа вдоль острова Врангеля на расстоянии до 375 км (202,37 м.м.) будет устойчивый прием сообщений NAVTEX (рис. 17).



Рис. 17. Схема трассы на азимуте 80° от РПДС Певек

Определим на каком азимуте в восточном направлении сигналы NAVTEX будут полностью затухать на трассе над сушей. Такая дистанция над сушей будет соответствовать  $E(d)=E_{\text{пор}} = 37,457$  дБ. Из кривой распространения земной волны над сушей (рис. 11) находим, что на расстоянии 200 км (107,93 м.м.)  $E(d)$  составляет 37,5 дБ. Такое расстояние и более по суше от БС Певек начинается от пеленга 85°. Таким образом, от пеленга 85° и более на восток сигналы NAVTEX в море судам будут не доступны.

Рассмотрим прохождение сигналов NAVTEX в море через остров Айон. Максимальная дальность, на которой могут находиться суда в Колымском заливе составляет около 400 км. По пеленгу 270° первый участок над морем составляет  $d_1 = 37$  км. Протяженность суши над островом Айон составляет  $d_2 = 57$  км (рис. 18).



Рис. 18. Схема трассы на азимуте 270 ° от РПДС Певек

Для этого случая произведём расчёты по (6) и (7) из графиков рис. 11:

$$E_1(d_1) = E_{\text{моря}}(37) = 98 \text{ дБ},$$

$$E_2(d_1) = E_{\text{суши}}(37) = 97 \text{ дБ},$$

$$E_2(d_1+d_2) = E_{\text{суши}}(94) = 87,5 \text{ дБ},$$

$$E_3(d_1+d_2) = E_{\text{моря}}(94) = 90 \text{ дБ},$$

$$E_3(d_1+d_2+d_3) = E_{\text{моря}}(400) = 51,8 \text{ дБ},$$

$$E_3(d_3) = E_{\text{моря}}(306) = 55,7 \text{ дБ},$$

$$E_2(d_3) = E_{\text{суши}}(306) = 27 \text{ дБ},$$

$$E_2(d_3+d_2) = E_{\text{суши}}(363) = 22 \text{ дБ},$$

$$E_1(d_3+d_2) = E_{\text{моря}}(363) = 53,8 \text{ дБ},$$

$$E_1(d_3+d_2+d_1) = E_{\text{моря}}(400) = 51,8 \text{ дБ},$$

$$E_R(d) = 98 - 97 + 87,5 - 90 + 51,8 = 50,3 \text{ дБ},$$

$$E_T(d) = 55,7 - 27 + 22 - 53,8 + 51,8 = 48,7 \text{ дБ},$$

$$E(d) = 0,5 \cdot (50,3 + 48,7) = 49,5 \text{ дБ} > E_{\text{пор}} = 37,457 \text{ дБ},$$

следовательно по пеленгу 270° через остров Айон в Колымском заливе будет устойчивый прием сообщений NAVTEX. С учётом значительного превышения уровня  $E(d)$  над уровнем  $E_{\text{пор}}$ , можно с уверенностью определить, что в Колымском заливе везде будет устойчивый прием сообщений NAVTEX, поскольку максимальная дальность нахождения судов в заливе от РПДС Певек составляет около 400 км (215,86 м.м.), а трасса над сушей острова Айон не превышает 60 км.

Рассчитаем по (6) и (7) на какой дальности будет обеспечиваться приём сообщений NAVTEX по азимуту 252° через остров Айон и Колымский из графиков рис. 11.

$$E_1(d_1) = E_{\text{моря}}(34) = 98,5 \text{ дБ},$$

$$E_2(d_1) = E_{\text{суши}}(34) = 97,5 \text{ дБ},$$

$$E_2(d_1+d_2) = E_{\text{суши}}(84) = 88 \text{ дБ},$$

$$E_3(d_1+d_2) = E_{\text{моря}}(84) = 90,5 \text{ дБ},$$

$$E_3(d_1+d_2+d_3) = E_{\text{моря}}(725) = 38,6 \text{ дБ},$$

$$\begin{aligned}
 E_3(d_3) &= E_{\text{моря}}(641) = 41,4 \text{ дБ}, \\
 E_2(d_3) &= E_{\text{суши}}(641) = 2 \text{ дБ}, \\
 E_2(d_3+d_2) &= E_{\text{суши}}(691) = 0 \text{ дБ}, \\
 E_1(d_3+d_2) &= E_{\text{моря}}(691) = 40,1 \text{ дБ}, \\
 E_1(d_3+d_2+d_1) &= E_{\text{моря}}(725) = 38,6 \text{ дБ}, \\
 E_R(d) &= 98,5 - 97,5 + 88 - 90,5 + 38,6 = 38 \text{ дБ}, \\
 E_T(d) &= 41,4 - 2 + 0 - 40,1 + 38,6 = 37,1 \text{ дБ}, \\
 E(d) &= 0,5 \cdot (38 + 37,1) = 37,55 \text{ дБ} > E_{\text{пор}} = 37,457 \text{ дБ},
 \end{aligned}$$

следовательно по азимуту  $252^\circ$  через остров Айон и Колымский пролив на расстоянии до 725 км (391,25 м.м.) будет устойчивый прием сообщений NAVTEX (рис. 19).



Рис. 19. Схема трассы на азимуте  $270^\circ$  от РПДС Певек

В соответствии с выполненными расчётами на рис. 20 представлены зоны прохождения сигналов NAVTEX от РПДС Певек в Восточно-Сибирском море.

### Выводы

1) В случае открытого моря (летом) по азимутам от  $256^\circ$  до  $12^\circ$  от РПДС Певек Службы NAVTEX дальность составляет до 742 км (400 м.м.).

2) По азимутам от  $12^\circ$  (северо-западный берег мыса Шелагский) до  $57^\circ$  (северо-западный берег острова Врангеля) будет постепенное снижение дальности устойчивого приема сообщений NAVTEX от 742 км (400 м.м.) до 550 км (296,81 м.м.) в связи с увеличением участка прохождения трассы над сушей от мыса Шелагский.

3) По азимутам от  $58^\circ$  до  $67^\circ$  из-за прохождения трассы над сушей острова Врангеля за ним приёма сообщений от БС NAVTEX Певек не будет.

4) По азимутам от  $68^\circ$  до  $85^\circ$  из-за прохождения трассы над сушей и постепенного её увеличения дальность устойчивого приёма сообщений NAVTEX Певек будет постепенно уменьшаться от 500 км (269,83 м.м.) до 200 км (107,93 м.м.) по пеленгу до  $85^\circ$ .

5) По пеленгу от  $85^\circ$  и более на Восток из-за прохождения трассы над большим участком суши приёма сообщений NAVTEX судами в море не будет.

6) В Колымском заливе при прохождении трассы распространения над сушей острова Айон везде будет устойчивый прием сообщений NAVTEX.

7) По азимутам от  $251^\circ$  до  $256^\circ$  через остров Айон и Колымский пролив будет устойчивый прием сообщений NAVTEX на расстоянии не менее 725 км (391,25 м.м.).

8) В ледовый (зимний) период эффективность распространения радиосигнала по замерзшему морю над пресноводным льдом значительно снижается и дальность уверенного приёма сигналов Службы NAVTEX не превышает 40 км (21,59 м.м.).

9) В случае смешанных трасс (50 % пресноводного льда, 50 % моря) дальность приёма сигналов Службы NAVTEX составляет до 160 км (86,35 м.м.).

10) Реальная зона действия Службы NAVTEX для свободного ото льда моря должна быть уточнена по результатам судоходства. Расчёты были сделаны для наилучшего (максимального) внешнего шума (промышленный шум равен 94,9 дБ), а в реальности на различных расстояниях от РПДС Певек в море внешний шум может значительно отличаться в меньшую сторону и дальность уверенного приёма сигналов Службы NAVTEX будет больше расчётной.

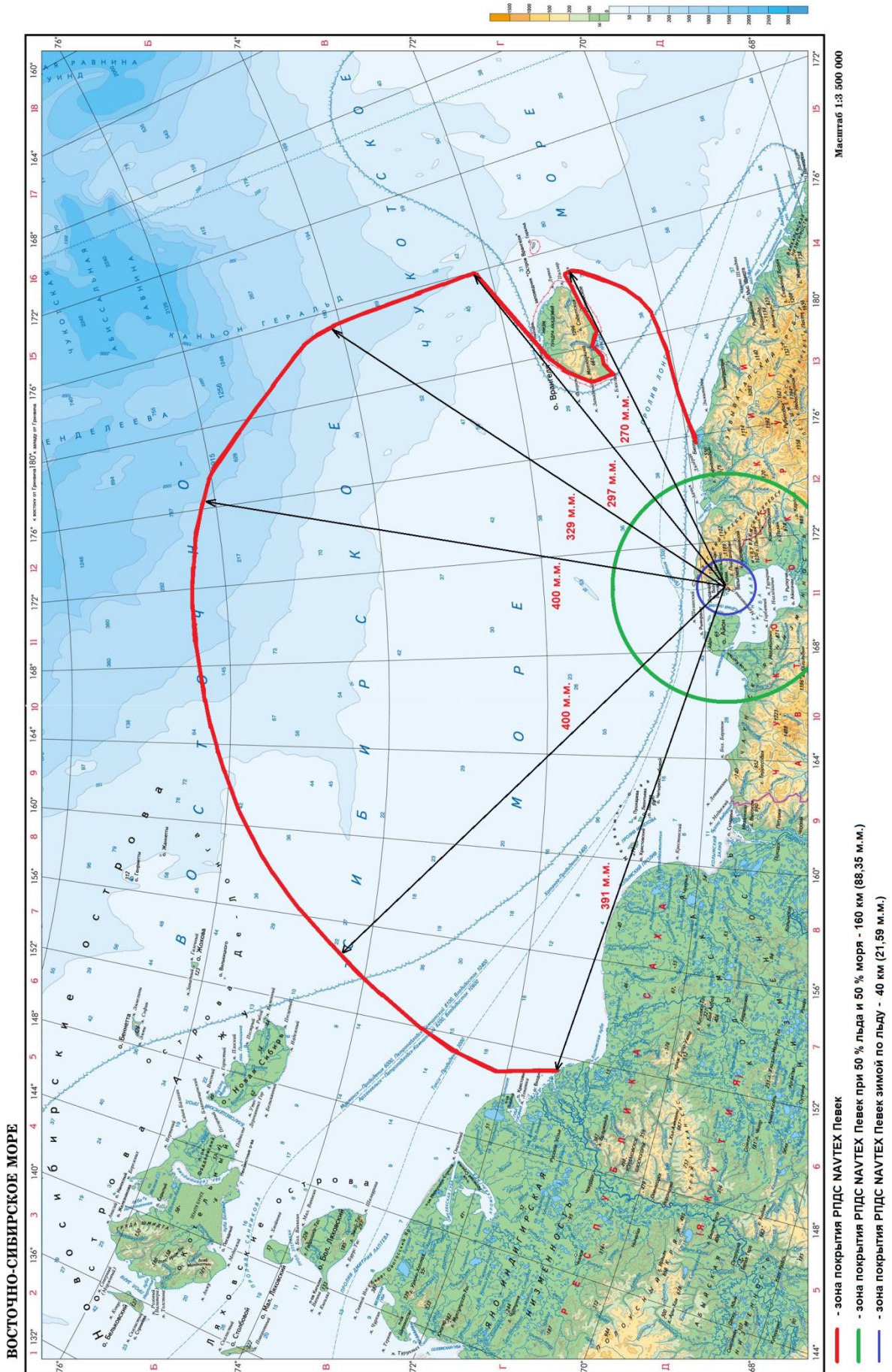


Рис. 20. Зоны прохождения сигналов NAVTEX от РПДС Певек в Восточно-Сибирском море

### Литература

1. Акулов В. С., Талагаев В. И. Структура земной волны над ледовыми трассами в Арктических районах // Техника средств связи. № 4 (156). 2021. С. 34-43.
2. Башкуев Ю. Б., Хаптанов В. Б., Дембелов М. Г., Буянова Д. Г., Нагуслева И. Б., Аюров Д. Б. Поверхностные электромагнитные волны на трассах северного морского пути // Техника радиосвязи (Распространение радиоволн). 2019. Вып. 1 (40). С. 7-18.
3. Акулов В. С., Талагаев В. И., Угрик Л. Н. Оценка зон обслуживания систем радиосвязи с земной волной в Арктических районах // Техника средств связи. 2022. № 1 (157). С. 53-60.
4. Рекомендация МСЭ-R P.368-9. Кривые распространения земной волны для частот между 10 кГц и 30 МГц.
5. Рекомендация МСЭ-R M.1467-1. Предварительное определение границ действия для морской зоны А2 и NAVTEX и защита канала оповещения о бедствиях Глобальной морской системы для случаев бедствия и обеспечения безопасности (ГМСББ) в районе А2.
6. Рекомендация МСЭ-R P.372-11. Радиошум.
7. Резолюция ИМО А.801(19). Обеспечение радиослужб для глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ).

### References

1. Akulov V. S., Talagaev V. I. The structure of the ground wave over ice tracks in the Arctic regions. Means of Communication Equipment. No. 4 (156). 2021. Pp. 34-43. (in Russian).
2. Bashkuev Yu.B., Khaptanov V.B., Dembelov M.G., Buyanova D.G., Naguslaeva I.B., Ayurov D.B. Surface electromagnetic waves on the routes of the northern sea route. Radio communication technology (Radio wave propagation). 2019. Issue. 1(40). Pp. 7-18. (in Russian).
3. Akulov V.S., Talagaev V.I., Ugrik L.N. Evaluation of the service areas of radio communication systems with the ground wave in the Arctic regions/ Means of Communication Equipment. 2022. No. 1 (157). Pp. 53-60. (in Russian).
4. Recommendation ITU-R P.368-9. Ground wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz. (in Russian).
5. Recommendation ITU-R M.1467-1. Preliminary delimitation for sea area A2 and NAVTEX and protection of the Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS) distress channel in area A2. (in Russian).
6. Recommendations ITU-R P.372-11. Radio noise. (in Russian).
7. IMO Resolution A.801(19). Provision of radio services for the Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS). (in Russian).

Статья поступила 17 марта 2023 г.

### Информация об авторах

*Ильмер Дмитрий Валерьевич* – Кандидат технических наук. Начальник отдела АО «НИИ «Нептун». Тел.: +7(812)327-49-96 доб. 224. E-mail: ilm@niineptun.ru.

*Помазунов Сергей Александрович* – Соискатель ученой степени какндидата технических наук. Временный генеральный директор АО «НИИ «Нептун». Тел.: +7(812)327-09-72. E-mail: psa@niineptun.ru.

*Исламов Альберт Ильдарович* – Соискатель ученой степени какндидата технических наук. Заместитель генерального директора по научно-техническому развитию АО «НИИ «Нептун». Тел.: +7(812)327-09-72. E-mail: iai@niineptun.ru.

Адрес: 199178, Россия, г. Санкт-Петербург, В.О. 7-я линия, д. 80, корп. 1, лит. А. Тел. +7(812)327-09-72. E-mail: inform@niineptun.ru.

## Assessment of the service area of the NAVTEX system in the East-Siberian Sea

D. V. Ilmer, S. A. Pomazunov, A. I. Islamov

**Abstract: Introduction:** Much attention is paid in the scientific literature to the analysis of the operation of radio communication systems in the Arctic regions, which is associated with the need to create and deploy Arctic telecommunications for civil and military purposes. At the same time, in order to predict communication coverage areas of telecommunications proposed for deployment and construction, theoretical studies are carried out with a quantitative assessment and analysis of the results obtained. Of particular interest is the calculation of the communication coverage areas of the designed telecommunications facilities. **The aim of the work** is a quantitative analysis of the ranges of radio reception of signals from the NAVTEX service to communicate information about the safety of navigation in the near sea zone in the mode of narrow-band direct-printing telegraphy with ground wave communication. **Result:** it consists in determining the size of the coverage area in the East Siberian Sea from the projected to the construction of the radio station of the NAVTEX service in Pevek, taking into account the effective radiated power of the radio transmitter, the signal-to-noise ratio at the input of receiving devices on ships and the features of ground wave propagation on routes with homogeneous and combined underlying surface depending on the azimuthal directions and the season (land, sea, sea freshwater ice). **Practical significance:** the results of the calculation make it possible to preliminarily estimate where, on the routes of the Northern Sea Route in the East Siberian Sea, after the construction of a radio station in the city of Pevek, ships will be provided with information on navigational safety, and where there will be zones of inaccessibility of this information for ships. This makes it possible to plan the further deployment of the NAVTEX service on the Arctic coast in order to increase the availability of it for navigation along the Northern Sea Route.

**Keywords:** Arctic radio communication, surface wave, field strength, external noise level, underlying surface parameters, gain, signal-to-noise ratio, communication range, system service areas.

### Information about Authors

*Ilmer Dmitry Valerievich* – Candidate of Technical Sciences. Head of the department of JSC "Research Institute "Neptune". Tel.: +7(812)327-49-96 ext. 224. E-mail: ilm@niineptun.ru.

*Pomazunov Sergey Alexandrovich* – Interim General Director of JSC "Research Institute "Neptune". Applicant of the academic degree of Candidate of Technical Sciences. Tel.: +7(812)327-09-72. E-mail: psa@niineptun.ru.

*Islamov Albert Ildarovich* – Deputy General Director for Scientific and Technical Development of JSC "Research Institute "Neptune". Applicant of the academic degree of Candidate of Technical Sciences. Tel.: +7(812)327-09-72. E-mail: psa@niineptun.ru.

Address: 199178, Russia, St. Petersburg, V.O. 7th line, d. 80, bldg. 1, lit. A. Tel. +7(812)327-09-72. E-mail: inform@niineptun.ru.

**Для цитирования:** Ильмер Д. В., Помазунов С. А., Исламов А. И. Оценка зоны обслуживания системы NAVTEX в Восточно-Сибирском море // Техника средств связи. 2023. № 1 (161). С. 29-47. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-29-47.

**For citation:** Ilmer D. V. , Pomazunov S. A. , Islamov A. I. Assessment of the service area of the NAVTEX system in the East-Siberian Sea. Means of Communication Equipment. 2023. No. 1 (161). Pp. 29-47. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-29-47. (in Russian).



УДК 504.064.36

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-48-59

## Теоретико-категориальный метод контроля целостности информационных ресурсов

Васильев Н. В., Довжиков С. Н., Компанец А. Н.

**Аннотация.** В статье **предложен** модифицированный теоретико-категориальный подход к контролю логической целостности информационных ресурсов на примере справочников системы электронного документооборота. **Целью работы** является разработка и апробация формализованной графической нотации моделирования логических ограничений. **Используемые методы:** в работе используются методы высшей алгебры и теории категорий, математической логики, теории реляционных баз данных и реляционной алгебры, теории принятия решений. **Новизна** обсуждаемого решения состоит в использовании категориальных конструкций для задания ограничений на концепты моделируемой предметной области. Модификации метода предполагают введение набора морфизмов (нормальный, сюръективный, инъективный, частичный, рекурсивный), нормальных и анти-категориальных конструкций. К **результатам** работы следует отнести: формирование базового набора стрелок и категориальных конструкций, формирование и реализация методик контроля целостности при различных вариантах обновления структуры справочников в виде таблиц поведения модуля контроля. **Практическая значимость** работы заключается в предложенной реализации метода в виде модуля контроля логической целостности данных справочников системы защищенного электронного документооборота.

**Ключевые слова:** прикладная теория категорий, электронные справочники, системы электронного документооборота, информационное моделирование, системы автоматизации предприятий.

### Введение

В современных автоматизированных системах ведущую роль играют информационные ресурсы, а также методы работы с ними. Формально, информационный ресурс – структурированные данные в любом виде, которые можно многократно использовать для решения задач конечных пользователей. Примерами информационных ресурсов в системах электронного документооборота являются электронные справочники, журналы делопроизводства и регистрационно-контрольные карточки документов. В системах управления сетями связи в виде информационных ресурсов реализуется работа с заявками на подключение и командами на установление связи, включая связанные справочники типов и видов связи, должностных лиц, типов каналов, зон связи и пр.

Для информационных ресурсов характерно определённое время жизни и доступность более, чем одному пользователю. Структура информационных ресурсов описывается набором реквизитов различных типов (строки, числа, даты, ссылки на другие информационные ресурсы). Так что каждый информационный ресурс можно представить в виде графа с выделенной главной вершиной. Например, в справочнике «Узлы связи» (см. рис. 1) используются записи справочников «Род войск» и «Населенные пункты», а записи справочника «Населенные пункты», в свою очередь, используются в справочнике «Регионы» и т. д.

Базовым типом информационных ресурсов являются справочники, которые представляют собой список условно-постоянной информации. Записи имеют одинаковую структуру, информация из них может быть использована в других информационных ресурсах – справочниках, журналах и электронных документах.

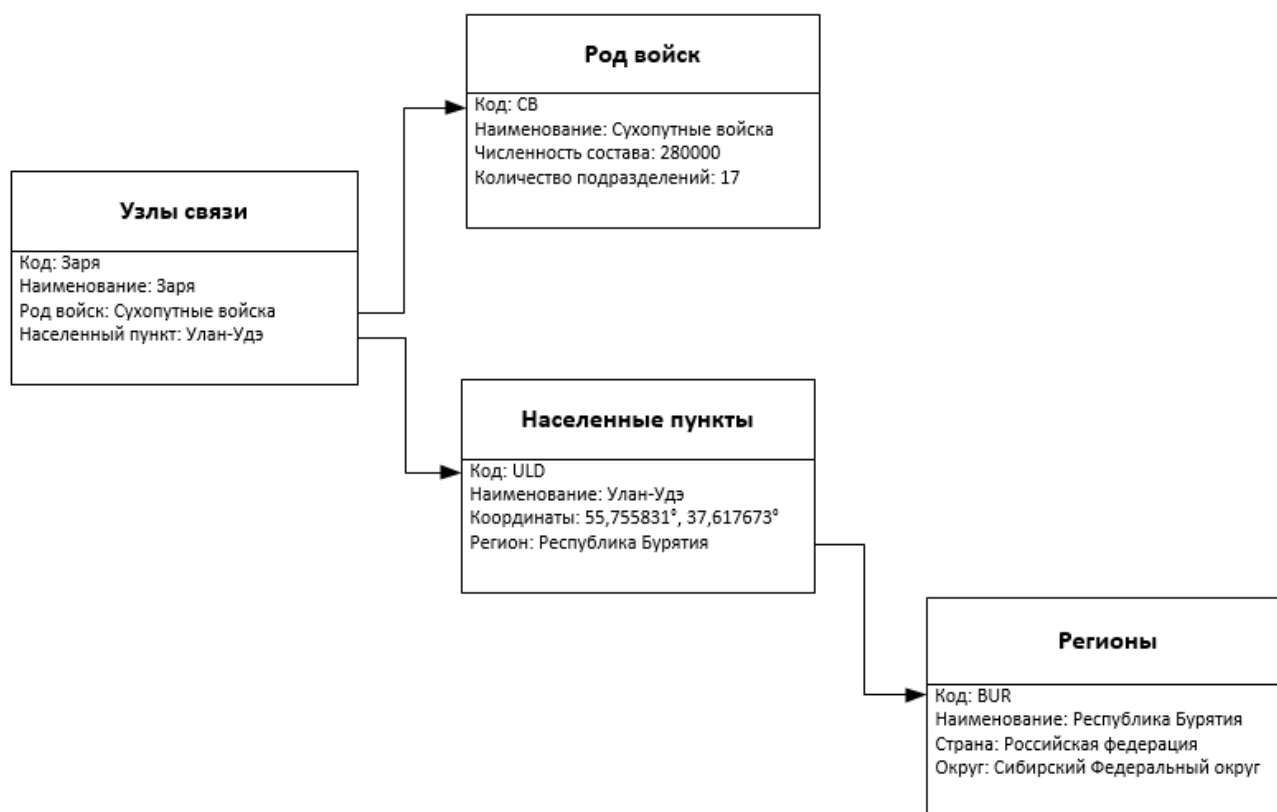


Рис. 1. Пример схемы справочников

Для ведения справочников в состав автоматизированных систем вводятся модули ведения справочников, которые решают следующие задачи:

- создание и редактирование справочников. Подсистема обеспечивает работу со структурой (метаописанием) справочников: создание новых справочников и добавление/удаление в справочники реквизитов;
- связывание справочников и навигация по структуре связанных справочников;
- просмотр, добавление, модификация и поиск записей в справочниках;
- контроль актуальности и целостности запрашиваемой информации относительно сроков действия и цифровых подписей, ограничивающий использование записи в отчетах и других справочниках;
- разграничение пользователей и групп по доступу к справочникам. Права могут назначаться на справочник в целом и на его отдельные записи;
- организация распределенной работы системы на нескольких серверах в случае, когда доступ к центральному серверу в режиме постоянного подключения невозможно.

Как было отмечено, система справочников и информационных ресурсов представляет собой *огрубленное онтологическое описание* объекта автоматизации. Охватывая вопросы моделирования основных классов объектов предметной области, модуль ведения справочников *не обеспечивает достаточную выразительность моделирования отношений между объектами*. Хотя задание сложных логических отношений не только между парами классов объектов (реквизиты типа «справочник»), но и между группами классов объектов необходимо для уменьшения возможных противоречий в модели предметной области. В конечном итоге, это сказывается на скорости работы всей системы автоматизации, так как средства позднего выявления и разрешения конфликтов достаточно ресурсоемки.

Существующий в языках *RDF* и *OWL* подход на основе предикатов специфичен для языков описания онтологий и сложен для практической реализации. В то же время теоретико-категориальный подход к моделированию семантики в базах данных имеет более чем 30-летнюю историю и представлен в работах как отечественных так и зарубежных исследователей, однако имеет ярко выраженную теоретическую направленность [1-4].

Необходимость модификации исходной категориальной модели и разработка метода контроля логической целостности справочников составляют цель и задачи исследования. Практическая значимость исследования состоит в реализации предложенных модели и метода в виде прототипа модуля.

### Теоретико-категориальный механизм контроля целостности данных справочников

В описанной во введении модели каждый реквизит типа «Справочник» связывает один информационный ресурс  $T_1$  с другим  $T_2$ . Этот факт можно отобразить как  $T_1 \rightarrow T_2$ . Таким образом, записи справочников могут формировать сложные графовые структуры. Математически каждая последовательность реквизитов типа «справочник»  $T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow \dots \rightarrow T_n$  может быть представлена функцией  $f$  от набора записей в справочнике  $T_1$  к набору записей в справочнике  $T_n$ . Часто в сложных структурах информационных ресурсов между справочниками  $T_1$  и  $T_n$  может существовать несколько путей-последовательностей. При этом конечные записи в справочнике  $T_n$  могут определять одно и то же значение. Например (см. рис. 2), рабочему «стационарному» телефону присваивается телефонный номер, код города которого соответствует региону, в котором физически находится телефон. Таким образом, у нас есть два пути из справочника «Стационарный телефон»  $\rightarrow$  «Регион». Разработчик системы справочников должен решить – должны ли эти два пути всегда приводить к одной и той же записи. Два пути *Стационарная абонентская точка*  $\rightarrow$  *Регион* осуществляют одно и то же отображение. Обозначим этот факт знаком  $\simeq$ .



Рис. 2. Пример модели справочников с требованием равенства конечных записей

В случае мобильной абонентской точки, два пути *Мобильная абонентская точка*  $\rightarrow$  *Регион* могут не дать одинакового результата, потому что мобильный телефон не обязательно должен в данный момент находиться в регионе, указанном в коде города.

Понятие эквивалентности путей в системе справочников является важным и естественным для моделирования ограничений целостности, которое дает ключ к описанию семантики схемы [5]. Выполнение этого ограничения часто остается на уровне приложения, но на самом деле его следует включать как часть схемы системы справочников.

Указанный контроль целостности имеет три основных преимущества:

- позволяет выявить избыточность связей между информационными ресурсами;
- обеспечивает проверку целостности при эксплуатации системы информационных ресурсов;
- создает основу для корректной эволюции схемы.

Указанные соображения могут быть формализованы при описании системы информационных ресурсов в виде категорий, которые представляют собой

ориентированный граф с дополнительным свойством, позволяющим установить эквивалентность двух путей.

Формально, категория  $K$  задаётся следующим набором данных:

1) Совокупностью объектов, которые мы будем обозначать заглавными латинскими буквами  $A, B, C$  которые соответствуют информационным ресурсам.

2) Совокупностью морфизмов, или стрелок, которые мы будем обозначать строчными латинскими буквами  $f, g, h$ , которые соответствуют связям между информационными ресурсами (реквизитам типа информационный ресурс).

3) Операциями  $dom$  и  $cod$ , которые сопоставляют каждой стрелке  $f$  некоторые объекты  $dom(f)$  и  $cod(f)$  (соответствуют началу и концу стрелки  $f$ ). Тот факт, что  $dom(f) = A$  и  $cod(f) = B$ , наглядно изображается так  $f: A \rightarrow B$ . В этом случае говорят, что  $f$  – морфизм  $A$  в  $B$ .

4) Операцией композиции, которая по каждой паре стрелок  $f$  и  $g: f: A \rightarrow B, g: B \rightarrow C$  (при условии  $cod(f) = dom(g)$ ), создает стрелку  $g \circ f: A \rightarrow C$  (композицию  $g$  и  $f$ ).

5) Операцией  $id$ , которая по каждому объекту  $A$  формирует стрелку  $id_A: A \rightarrow A$ . (она называется тождественной или единичной стрелкой объекта  $A$ , а также тождественным или единичным морфизмом объекта  $A$ , можно называть эту стрелку и просто тождеством объекта  $A$ ). Данная стрелка соответствует коду информационного ресурса.

При этом должны выполняться следующие условия:

1) Ассоциативность композиции.

Для любой тройки стрелок  $f: A \rightarrow B, g: B \rightarrow C, h: C \rightarrow D$  выполнено равенство  $(h \circ g) \circ f = h \circ (g \circ f)$ .

2) Свойства тождества.

Для любой стрелки  $f: A \rightarrow B$  выполнено равенство  $f \circ id_A = f$ .

Для любой стрелки  $f: A \rightarrow B$  выполнено равенство  $id_B \circ f = f$ .

Моделирование системы информационных ресурсов категориями осуществляется следующим образом:

- отдельные информационные ресурсы в схеме задаются вершинами графа;
- реквизиты описываются стрелками;
- функциональная эквивалентность путей в системе информационных ресурсов определяются теоретико-категориальным понятием композиции, устанавливающим эквивалентности путей (обозначается символом  $\simeq$ ).

Система информационных ресурсов находится в *категориальной нормальной форме*, если:

- каждый ресурс  $T$  имеет один реквизит-идентификатор  $id_T$  (код записи). Реквизиты такого справочника называются кодами записей  $T$ ;

- для каждого реквизита  $c$  справочника  $T$  существует некоторый целевой справочник  $T'$  такой, что каждое значение реквизита  $c$  ссылается на некоторый код записи  $T'$ . Обозначим эти отношения  $c: T \rightarrow T'$ . В частности, если некоторый реквизит  $d$  справочника  $T$  имеет элементарный тип (такой как строка, дата или целое число), то его целевой справочник  $T'$  является просто справочником с одним реквизитом (т. е. контролируемым словарем, содержащим по крайней мере реквизит  $d$ ), и мы по-прежнему пишем  $d: T \rightarrow T'$ ;

- когда есть два пути  $p, q$  в системе от информационного ресурса  $T$  к информационному ресурсу  $U$  (обозначается  $p: T \rightarrow U, q: T \rightarrow U$ ) и известно, что  $p$  и  $q$  должны соответствовать одному и тому же отображению кодов, то эта эквивалентность путей должна быть определена как часть схемы информационных ресурсов. Обозначим эту эквивалентность путей  $p \simeq q$ .

При реализации алгоритмов контроля целостности в системе информационных ресурсов категорию информационных ресурсов следует показывать в виде графов, которые

представляют собой последовательность  $G = (A, V, src, tgt)$ , где  $A$  и  $V$  — множества (соответственно называемые множеством стрелок и множеством вершин  $G$ ), а  $src: A \rightarrow V$  и  $tgt: A \rightarrow V$  — функциями начала и концов стрелок соответственно.

Если  $a \in A$  — стрелка с началом  $src(a) = v$  и концом  $tgt(a) = w$ , то этот факт отображается как  $v \rightarrow w$ .

Пусть  $G = (A, V, src, tgt)$  — граф. Путь длины  $n$  в  $G$ , обозначаемый  $p \in Path_n(G)$ , представляет собой совокупность «от начала к концу» через последовательность  $n$  стрелок  $P = (v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow \dots \rightarrow v_n)$ . В частности,  $Path_1(G) = A$  и  $Path_0(G) = V$ . Путь длины 0 на вершине  $v$  — тривиальный путь на  $v$ , обозначаемый далее через  $id_v$ .

Обозначим через  $Path(G)$  множество всех путей на  $G$ . Каждый путь  $p \in Path G$  имеет начальную и конечную вершины, и мы можем написать, что  $src, tgt: Path G \rightarrow V$ . Для двух вершин  $v, w \in V$   $Path G(v, w)$  служит для обозначения множества всех путей из  $v$  в  $w$ .

Введем операцию композиции на путях. Для пути  $p: v \rightarrow w$  и  $q: w \rightarrow x$  определим композицию, обозначаемую  $pq: v \rightarrow x$ . В частности, если  $p$  (соответственно  $r$ ) — тривиальный путь в вершине  $v$  (соответственно вершине  $w$ ), то для любого пути  $q: v \rightarrow w$  имеем  $pq = q$  (соответственно  $qr = q$ ). Таким образом, для ясности мы всегда можем обозначать путь как начинающийся с тривиального пути в исходной вершине.

Определим теперь понятие категорического отношения эквивалентности на множестве путей графа. Такое отношение эквивалентности (в дополнение к тому, что оно рефлексивно, симметрично и транзитивно) обладает двумя видами дополнительных свойств: эквивалентные пути имеют одинаковые начало и конец, и композиция эквивалентных путей с другими эквивалентными путями должна иметь результатом эквивалентные пути.

Пусть  $G = (A, V, src, tgt)$  — граф. Категориальное отношение эквивалентности путей на  $G$  — отношение эквивалентности  $\simeq$  на  $Path G$ , обладающее следующими свойствами:

- 1) Если  $p \simeq q$ , то  $src(p) = src(q)$ .
- 2) Если  $p \simeq q$ , то  $tgt(p) = tgt(q)$ .
- 3) Пусть  $p, q: b \rightarrow c$  — пути, а  $m: a \rightarrow b$  — стрелка. Если  $p \simeq q$ , то  $mp \simeq mq$ .
- 4) Если  $p, q: a \rightarrow b$  — пути, а  $n: b \rightarrow c$  — стрелка. То из  $p \simeq q$ , следует  $pn \simeq qn$ .

Из определения следует, что если  $p \simeq q: a \rightarrow b$  и  $r \simeq s: b \rightarrow c$ , то  $pr \simeq qs$ .

Категориальная схема  $C$  информационных ресурсов состоит из пары  $(G, \simeq)$ , где  $G$  — граф схемы информационных ресурсов,  $\simeq$  — категориальное отношение эквивалентности путей на  $G$ .

Приведенное понятие эквивалентности путей относится к графу, описывающему категориальную схему информационных ресурсов. Как было указано выше, каждый информационный ресурс содержит набор экземпляров (записей журналов и справочников, карточек). Для контроля целостности следует обобщить понятие экземпляра ресурса на экземпляр схемы, в которую он входит.

Пусть  $C = (G, \simeq)$  — категоричная схема, где  $G = (A, V, src, tgt)$ . Экземпляр на  $C$ , обозначаемый  $I$ , включает:

- 1) Для каждой вершины  $v \in V$  множество  $I(v)$  экземпляров информационных ресурсов.
- 2) Для каждой стрелки  $a: v \rightarrow v'$  в  $A$  функция связи отдельных экземпляров ресурсов между собой  $I(a): I(v) \rightarrow I(v')$ .
- 3) Для каждой эквивалентности пути  $p \simeq q$  есть гарантия выполнения уравнения  $I(p) = I(q)$ .

### Метод контроля целостности на уровне стрелок

Для более практичного и точного моделирования экземпляров схемы информационных ресурсов категориями необходимо уточнить понятие морфизма, соответствующего связи между ресурсами в процессе их модификации (прежде всего

удаления) [6]. Прежде всего следует определить поведение системы при удалении и обновлении информационных ресурсов:

– запрещено: удаление записи из ресурса на конце стрелки вызовет нарушение целостности. Данная политика предотвращает обновления или удаления, которые могут нарушить ограничение.

– каскадно: удаление или обновление записи из ресурса на конце стрелки вызовет удаление или обновление экземпляров ресурсов в начале стрелки.

– обнуление: удаление записи из ресурса на конце стрелки вызовет установку пустого значения (*null*) в записи ресурса в начале стрелки. Данная политика применима сугубо для частичных стрелок (см. ниже).

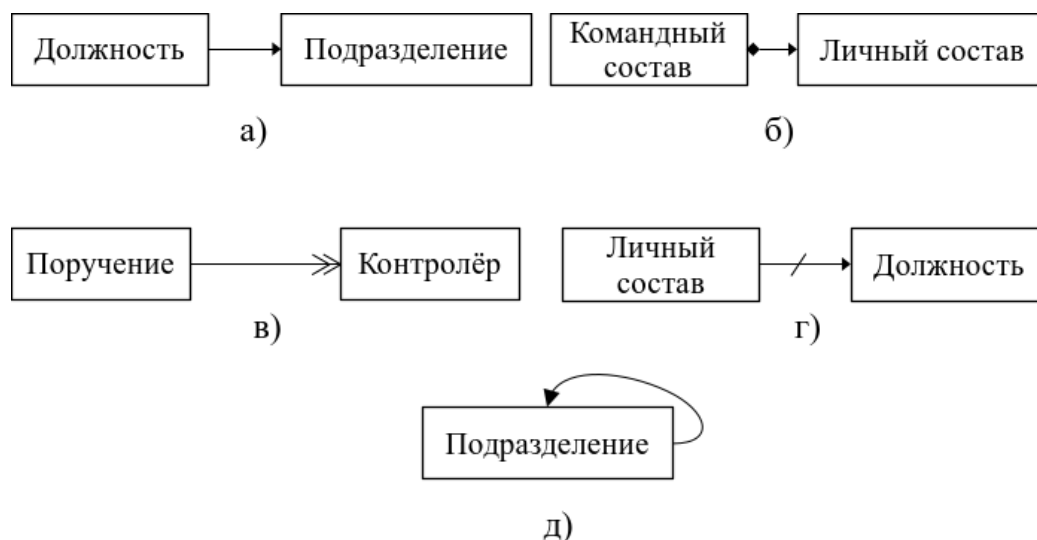


Рис. 3. Типы стрелок, используемые для категориального моделирования информационных ресурсов: а) нормальная стрелка, б) инъективная, в) сюръективная, г) частичная, д) рекурсивная

Для моделирования ограничений на связи между ресурсами вводится тип связи (стрелки):

– нормальная стрелка (см. рис. 3 а). Представляет собой реквизит типа информационный ресурс, который не может принимать значение *null*. В общем случае соответствует отображению многие-к-одному («многие» со стороны ресурса, имеющего реквизит типа «к одному»). При программной реализации контроля целостности реализации при сохранении записи ресурса (*add*, *update*) всегда проверяется, что поле не *null*. При удалении записи ресурса, на которую ссылается запись ресурса удаление не производится, а выдается предупреждение о необходимости назначения нового объекта, на который ссылаемся;

– инъективная стрелка (см. рис. 3 б). Инъективные стрелки – ненулевые, уникальные реквизиты типа информационный ресурс. Так как реквизит должен быть уникальным, эта стрелка соответствует отношению «один-к-одному» между сущностями. Как правило, инъективными стрелками моделируется наследование сущностей ресурсов (*is-a relation*). При ссылке на реквизит в программной реализации производится проверка на *non-null* и факт того, что никто больше не ссылается на ресурс в начале стрелки;

– сюръективная стрелка (см. рис. 3 в). Нормальная стрелка не накладывает дополнительных ограничений на отношение. Например, клиент может иметь любое количество заказов. Напротив, если мы введем ограничения по числу заказов больше 1, это наложит ограничение на ассоциацию  $A \rightarrow B$ : каждый объект из  $B$  должен быть образом хотя бы одного  $a$  из  $A$ . Это определяет сюръективную функцию в теории множеств, которая

соответствует понятию эпи-стрелки. Добавление записей на концах стрелки происходит в одной транзакции, т. к. в начале и в конце должна быть минимум одна запись. На запись *B* не может не ссылаться ни одна запись из *A*;

– частичная стрелка (см. рис. 3 г). Частичная стрелка схожа с нормальной стрелкой, но реквизит может принимать значение *null*. Таким образом в справочнике на конце стрелки может не быть записи;

– рекурсивная стрелка (см. рис. 3 д) представляет собой частичную стрелку, предназначенную для ссылки ресурса на себя (главным образом, моделирование иерархий).

Целостность системы информационных ресурсов обеспечивается описанием в виде категории и наложением на эту категорию свойств универсальных конструкций, которые представляют собой реализацию рассмотренной ранее концепции эквивалентности путей совместно с различными видами стрелок. Помимо эквивалентности путей следует также рассматривать запрет на равенство. Таким образом, наряду с «нормальными» диаграммами будем рассматривать «анти» диаграммы.

На основе введенных стрелок может быть произведена базовая проверки целостности:

1) При каждой модифицирующей операции (обновление, удаление, добавление) производится построение графа категории, содержащей указанную запись с извлечением записей ресурса, существенных для модифицируемого информационного ресурса (теоретико-категориальная конструкция Гротендика). Вершины графа – записи информационных ресурсов, ребра имеют в качестве атрибутов политику обновления и тип стрелки.

2) По графу записи ресурса проверяется не нарушает ли операция логическую целостность согласно табл. 1 и 2.

3) Если ограничения не нарушаются, то производится модификация.

Таблица 1 – Действия в зависимости от типа стрелки

| Тип стрелки             | Добавление  | Удаление  | Обновление  |
|-------------------------|---|---|---|
| <b>Нормальная (Н)</b>   | Не пусто  | Без проверок  | Не пусто  |
| <b>Иъективная(И)</b>    | Не пусто. На конец стрелки ссылается только данная запись   | Без проверок  | Не пусто. На конец стрелки ссылается только данная запись |
| <b>Частичная(Ч)</b>     | Проверка на нерекурсивность   | Без проверок  | Проверка на нерекурсивность                               |
| <b>Сюръективная (С)</b> | Записи на концах стрелки добавляются единой транзакцией, если запись на конце еще не была добавлена | На запись на конце должна ссылаться минимум одна запись | На запись на конце должна ссылаться минимум одна запись   |
| <b>Рекурсивная(Р)</b>   | Без проверок  | Без проверок  | Без проверок  |

Таблица 2 – Действия в зависимости от типа удаления

| Действие         | Удаление   |
|------------------|--|
| <b>Запрещено</b> | Запрет на удаление   |
| <b>Каскадно</b>  | Удаление записи из объекта на конце стрелки вызовет удаление записей из объектов в начале стрелки                    |
| <b>Обнуление</b> | Удаление записи из объекта на конце стрелки вызовет установку значения <i>null</i> в записи объекта в начале стрелки |

В процессе модификации схемы информационных ресурсов возможны следующие логические ошибки:

1) В случае, если добавление стрелки создает сильно связанный компонент, где каждый объект может достигнуть любого другого объекта через путь, состоящий из нормальных, инъективных и сюръективных (*non-null*) стрелок, пользователь должен быть предупрежден о невозможности осуществления такой операции. Это связано с тем, что в сильносвязанный компонент будет невозможно выполнить начальную вставку. В данном случае требуется внешний реквизит, не допускающий пустого значения. Это не позволит создать какую-либо начальную запись в путях информационный ресурс (циклические зависимости).

2) Пользователь также должен быть предупрежден, если добавление реквизита (вставка стрелки) приведет к созданию параллельных путей, при этом по крайней мере один путь будет полностью каскадным, а хотя бы один другой путь не будет полностью каскадным. Для демонстрации проблем в таких схемах приведем диаграмму, расположенную ниже, где  $f_1$  имеет каскадный тип, а  $f_2$  – запрещенный тип. Предположим, что одна запись ресурса была создана в  $B$  и один ресурс с обоими внешними ключами, указывающими на одну доступную строку в  $B$ , были созданы в типе  $A$ . Если пользователь удалит ресурс в  $B$ , то создастся противоречивая ситуация. Можно ожидать, что ресурс не будет удален из-за типа одной из стрелок «Запрещено», или можно ожидать, что запись ресурса будет удалена вместе с каскадно удаляемой записью ресурса в  $A$ .

Задание ограничения предполагает выбор путей (последовательностей стрелок) между различными информационными ресурсами [7, 8]. По типу стрелок и числу объединяемых ресурсов для контроля целостности можно применить следующие теоретико-категориальные конструкции:

– коммутативная диаграмма (см. рис. 4 а). Представляет собой набор путей, каждый из которых имеет одинаковую запись ресурса в начале и одинаковую запись ресурса в конце. Целевая запись информационного ресурса достижима независимо от пути обхода;

– сумма объектов (см. рис. 4 б). Сумма состоит из двух или более суммируемых справочников и пути (начинающегося с инъективной стрелки) от каждого ресурса-слагаемого до ресурса-суммы. Ограничение выполняется если запись-сумма изоморфна непересекающемуся объединению исходных записей-слагаемых;

– произведение объектов (см. рис. 4 в). Произведение состоит из двух или более ресурсов-сомножителей, ресурса произведения и пути от каждого сомножителя к произведению. Ограничение произведения удовлетворяется, когда записи ресурса-произведения изоморфны декартову произведению строк других ресурсов-сомножителей, участвующих в ограничении, через пути от сущности произведения к сомножителям;

– уравниватель (см. рис. 4 г). Ограничение уравнивателя представлен объектом уравнивателя с путем (первая стрелка которого является инъективным) к объекту, который является источником двух (или более) параллельных путей к общей сущности ресурса;

– декартов квадрат (см. рис. 4 д). Декартов квадрат схож с оператором объединения языка *SQL*. Это ограничение требует определения двух или более путей с общей, конечной записью-сущностью, начальной общей записью квадрата. Ограничение квадрата удовлетворено, если в объекте квадрата есть ровно один кортеж для каждого списка кортежей из исходных объектов определяющих пути, которые направлены на одно и то же значение в их общим конечном ресурсе.

Последовательность использования указанных методов контроля целостности показана на рис. 5.



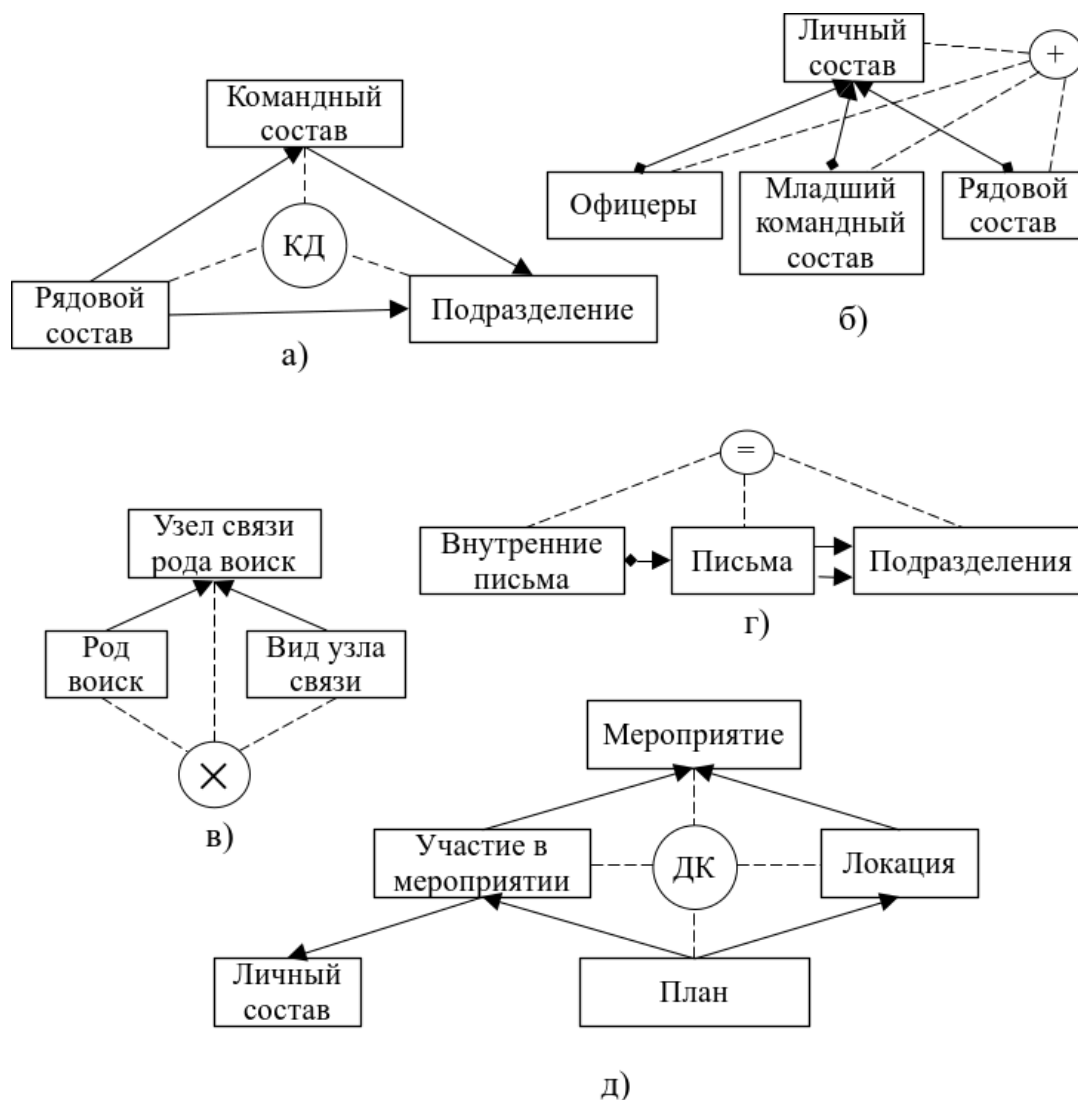


Рис. 4. Обозначение ограничений логической целостности информационных ресурсов в виде диаграмм: а) коммутативная диаграмма, б) сумма объектов, в) произведение объектов, г) уравнитель, д) декартов квадрат



Рис. 5. Схема теоретико-категориального метода контроля логической целостности информационных ресурсов

Для апробации предложенного подхода был разработан комплекс программ, интегрированный в сервис ведения справочников системы электронного документооборота. При этом для обеспечения контроля логической целостности использованы такой компонент, как «Редактор ограничений» – компонент, предназначенный для визуализации и редактирования категориальных конструкций логических ограничений на графе структуры справочников. Компонент был реализован в виде тонкого клиента в составе интерфейса администратора системы электронного документооборота. Интерфейс компонента показан на рис. 6.

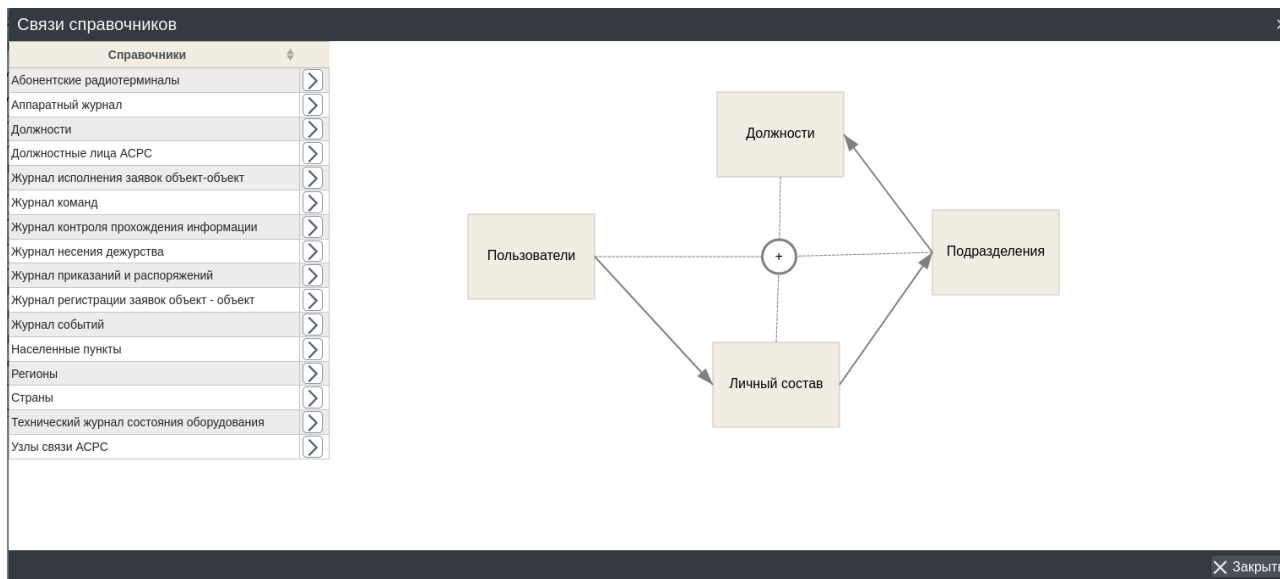


Рис. 6. Интерфейс компонента редактирования ограничений

При задании ограничения, после его выбора пользователь выбирает пути (последовательности) из групп справочников и реквизитов типа справочник, которые включаются в ограничение. Отдельно рассматривается два случая задания ограничений, применяемые автоматически:

– задание логических ограничений на справочниках без данных. В этом случае никаких предварительных действий по введению ограничения не требуется и ограничение может использоваться сразу же после записи в таблицы модели ограничений;

– задание логических ограничений на уже заполненных справочниках. В этом случае производится вызов метода формирования списка записей справочников, нарушающих целостность, входящего в состав модуля контроля целостности, которые предъявляются администратору данных. Категориальная конструкция в базе данных помечается флагом как «не актуальная» и не используется в автоматической работе модуля контроля целостности (при выполнении операций создания, редактирования и удаления записей справочников). После разрешения противоречий, в модели целостности категориальная схема может быть переведена в статус «актуальной», что позволяет автоматически вызывать ее модулем контроля целостности.

Помимо редактора ограничений, модификации также был подвергнут редактор справочников для обеспечения возможности задания типов стрелок (нормальная, инъективная, сюръективная, частичная, рекурсивная) и политики удаления (каскадная, запрещено, обнуление).

### Модуль контроля целостности

Вызов функций модуля осуществляется каждый раз при создании, удалении и обновлении записей, а также при введении ограничений целостности в работу.

Интерфейс модуля предполагает реализацию следующих функций:

- проверка возможности добавления группы записей в систему справочников;
- проверка возможности обновления группы записей;
- проверка возможности удаления группы записей;
- проверка возможности применения ограничения на имеющихся данных справочников. В случае невозможности возвращает отображение вида «идентификатор записи справочника» – «описание нарушения ограничения», которые предъявляются в дальнейшем администратору данных.

Вызов указанных методов осуществляется соответственно из методов вставки, обновления и удаления сервиса ведения справочников, а также интерфейса редактора ограничений.

### Выводы

В рамках работы предложена модификация теоретико-категориального метода контроля целостности, подразумевающая использование категориальных конструкций для задания ограничений на концепты моделируемой предметной области. Модификации метода предполагает введение набора морфизмов (нормальный, сюръективный, инъективный, частичный, рекурсивный) и категориальных конструкций. Предложенный метод был использован для контроля целостности механизма контроля записей справочников.

Был спроектирован и реализован редактор описания категориальных схем и модуль контроля целостности, который реализует предложенный модифицированный метод.

Разработанный редактор позволяет описывать категориальные схемы контроля целостности существующих и вновь задаваемых справочников.

Разработанный модуль контроля целостности позволяет использовать разработанные схемы в процессах добавления, удаления и модификации записей справочников.

### Литература

1. Голдблатт Р. Топосы. Категорный анализ логики. М.: Мир, 1983. 450 с.
2. Маклейн С. Категории для работающего математика. М.: Физматлит, 2004. 200 с.
3. Вольфенгаген В. Э., Яцук В. Я. Аппликативные вычислительные системы и концептуальный метод проектирования систем знаний / под. ред. проф. Л. А. Майборода – МО СССР, 1987. – 256 с.
4. Цаленко М. Ш. Моделирование семантики в базах данных. – М.: Наука, 1989. – 288 с.
5. Johnson M., Rosebrugh R. Sketch Data Models, Relational Schema and Data Specifications, Electronic notes in theoretical computer science. V. 61. 2002. Pp.51-63.
6. David I., Wisnesky S., Wisnesky R. Relational Foundations for Functorial Data Migration. In: *Proceedings of the 15th Symposium on Database Programming Languages*. DBPL. Pittsburgh, PA:ACM, 2015, pp. 21–28.
7. Spivak D. I. *Category Theory for the Sciences*. Cambridge: MIT Press. 2014. 486 p.
8. Fong B., Spivak D.I. *An Invitation to Applied Category Theory: Seven Sketches in Compositionality*. Cambridge University Press. 2018.

### References

1. Goldblatt R. Topoi. Categorical analysis of logic. Moscow. Mir, 1983. 450 p. (in Russian).
2. McLane S. Categories for a working mathematician. Moscow. Fizmatlit, 2004, 200 p. (in Russian).
3. Wolfenhagen V. E., Yatsuk V. Ya. Applicative computing systems and a conceptual method for designing knowledge systems / ed. ed. prof. L. A. Maiborody. Moscow. Ministry of Defense of the USSR, 1987. 256 p. (in Russian).
4. Tsalenko M. Sh. Modeling semantics in databases. Moscow. Nauka, 1989. 288 p. (in Russian).
5. Michael Johnson, Robert Rosebrugh. Sketch Data Models, Relational Schema and Data Specifications, Electronic notes in theoretical computer science. V. 61. 2002. Pp. 51-63.
6. David I. Wisnesky S., Wisnesky R. Relational Foundations for Functorial Data Migration. In: *Proceedings of the 15th Symposium on Database Programming Languages*. DBPL. Pittsburgh, PA:ACM, 2015. Pp. 21–28.
7. Spivak D. I. *Category Theory for the Sciences*. Cambridge: MIT Press. 2014. 486 p.
8. Fong B., Spivak D.I. *An Invitation to Applied Category Theory: Seven Sketches in Compositionality*. Cambridge University Press. 2018.

Статья поступила 04 марта 2023 года

### Информация об авторах

*Васильев Николай Владимирович* – кандидат технических наук, доцент. Начальник сектора ПАО «Интелтех».

Адрес: Россия, 197342, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8. E-mail: gandvik1984@gmail.com. Тел.: +7(911)120-26-22.

*Довжиков Сергей Николаевич* – инженер-программист сектора разработки специального программного обеспечения ПАО «Интелтех».

Адрес: Россия, 195380, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская д. 8. E-mail: gandvik1984@gmail.com. Тел.: +7(911)120-26-22.

*Компанец Артем Николаевич* – инженер-программист сектора разработки специального программного обеспечения ПАО «Интелтех»

Адрес: Россия, 195380, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская д. 8. . E-mail: gandvik1984@gmail.com. Тел.: +7(911)120-26-22.

### Category theory based method for monitoring the integrity of information resources

N. V. Vasiliev, S. N. Dovzhikov, A. N. Kompanec

**Annotation.** *The article proposes a modified categorical-theoretical approach to the control of the logical integrity of information resources on the example of directories of the electronic document management system. The aim of the work is to develop and test a formalized graphical notation for modeling logical constraints. Methods used: the methods of higher algebra and category theory, mathematical logic, relational database theory and relational algebra, decision theory are used in the work. The novelty of the discussed solution lies in the use of categorical constructions to set restrictions on the concepts of the modeled subject area. Modifications of the method involve the introduction of a set of morphisms (normal, surjective, injective, partial, recursive), normal and anti-categorical constructions. The results of the work include: the formation of a basic set of arrows and categorical constructions, the formation and implementation of integrity control methods for various options for updating the structure of directories in the form of tables of control module behavior. The practical significance of the work lies in the proposed implementation of the method in the form of a module for monitoring the logical integrity of data directories of a secure electronic document management system.*

**Keywords:** *applied category theory, electronic directories, electronic document management systems, information modeling, enterprise automation systems.*

### Information about Authors

*Vasiliev Nikolay Vladimirovich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Head of Sector of PJSC «Inteltech».

Address: Russia, 197342, St. Petersburg, Kantemirovskaya str. 8. E-mail: gandvik1984@gmail.com. Tel: +7(911)120-26-22.

*Dovzhikov Sergei Nikolaevich* – Software engineer in the sector of special software development of PJSC «Inteltech».

Address: Russia, 197342, St. Petersburg, Kantemirovskaya str. 8. E-mail: gandvik1984@gmail.com. Tel.: +7(911)120-26-22.

*Kompanec Artyom Nikolaevich* – Software engineer in the sector of special software development of PJSC «Inteltech». Address: Russia, 197342, St. Petersburg, Kantemirovskaya str. 8. E-mail: gandvik1984@gmail.com. Tel.: +7(911)120-26-22.

**Для цитирования:** Васильев Н.В., Довжиков С.Н., Компанец А.Н. Теоретико-категориальный метод контроля целостности информационных ресурсов // Техника средств связи. 2023. № 1 (161). С. 48-59. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-48-59.

**For citation:** Vasiliev N. V., Dovzhikov S. N., Kompanec A. N. Category theory based method for monitoring the integrity of information resources. Means of Communication Equipment. 2023. No. 1 (161). Pp.48-59 (in Russian). DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-48-59.

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

УДК 621.391

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-60-68

**Анализ этапов и критериев выбора современных технологий искусственного интеллекта в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения**

Елизаров В. В., Паращук И. Б., Салюк Д. В.

**Аннотация. Постановка задачи:** *детальный синопсис и подробный системный анализ в области современных технологий искусственного интеллекта и методологии их выбора в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения. Изучение условий и формулировка возможных ограничений и критериев выбора вариантов применения технологий искусственного интеллекта в системах такого класса.* **Новизна:** *состоит в том, что объектом исследования являются современные технологии искусственного интеллекта, причем особый упор сделан на анализ условий, ограничений и возможных критериев выбора этих технологий в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления, на формулировку сущности и содержания этапов общей методики выбора таких технологий.* **Целью работы** *является анализ существующих подходов и разработка новых вариантов реализации процедур поддержки принятия решений по обоснованному, многокритериальному выбору конкретных технологий искусственного интеллекта для обеспечения повышения эффективности техники средств связи и автоматизации управления специального назначения.* **Результат:** *заключается в том, что предложен вариант практического наполнения (описаны сущность и содержание) этапов общей методики выбора современных технологий искусственного интеллекта в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления, определены условия, ограничения и возможные критерии выбора, которые могут и должны реально повысить эффективность техники средств связи и автоматизации такого класса.* **Практическая значимость:** *результаты исследований и представленный подход к анализу этапов, условий, ограничений и критериев выбора современных технологий искусственного интеллекта, позволяют с единых системных позиций сформулировать обоснованные варианты реального практического внедрения данных технологий в технику связи и автоматизации, что, в свою очередь, позволит поднять эффективность функционирования и применения систем такого класса на абсолютно новый уровень.*

**Ключевые слова:** *автоматизация управления, критерии выбора, методика, построение и совершенствование, техника средств связи, технологии искусственного интеллекта.*

**Актуальность**

В современных условиях все большую актуальность приобретают вопросы анализа, формулировки и детальной разработки конкретных предложений в части реализации дорожных карт «сквозных» цифровых технологий, а также вопросы учета прогнозируемых результатов по практической реализации этих предложений на прикладном уровне, в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения [1-4].

В этой связи особого внимания, на наш взгляд, заслуживают технологии искусственного интеллекта, как одна из самых быстроразвивающихся отраслей «сквозных» цифровых технологий. Анализ тенденций развития отрасли показывает, что технологии искусственного интеллекта (ИИ), наряду с современными технологиями моделирования, квантовыми технологиями и технологиями распределенного реестра (блокчейна), аддитивными технологиями и технологиями «цифровых двойников», составляют базу, основу научно-производственного тренда, нацеленного на развитие систем (комплексов, средств) связи и автоматизации управления специального назначения [4].

При этом к технологиям ИИ принято относить: анализ Больших Данных, анализ речи, машинное обучение (глубокое обучение) и рекомендательные системы, технологии генерации естественного языка и речи, алгоритмы принятия аналитических решений на базе искусственного интеллекта, технологии компьютерного зрения, алгоритмы и методы когнитивных вычислений и выбора в условиях неопределенности, классификаторы и методы статистического обучения, искусственные нейронные сети, методы теории умного управления, генетические алгоритмы: интеллект роя, муравьиного сообщества, умную пыль, и др., а также биотехнические системы и подходы к построению нейроинтерфейсов (нейроинформатика) [5].

Очевидно, что перечисленные технологии не вправе и не в состоянии полностью взять на себя задачи связи и автоматизации. Это, тем более важно, для задач выбора современных технологий ИИ в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения, поскольку, в частности, существуют кардинальные отличия сущности и принципов автоматизации процессов управления, допустим, войсками и оружием, от базовых принципов интеллектуализации подобных задач, от особенностей применения для подобных целей систем ИИ.

В рамках интеллектуализации современных комплексов (средств) связи и автоматизированного управления справедливо, на наш взгляд, предполагается, что системы ИИ, встроенные в технические средства связи и автоматизации специального назначения, позволят расширить возможности средств и такого класса [4, 6-9].

В частности, с точки зрения поддержки принятия решения (например, по выбору оптимальных частот или по вопросам анализа информационной безопасности) в условиях значительной неопределенности – на основе разнородной и неполной информации, характеризующей часто изменяющиеся условия функционирования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения [10, 11].

Именно в этих условиях проявляются достоинства современных технологий и систем ИИ – самообучаемость и адаптивность. Это позволит расширить возможности техники средств связи и автоматизации управления специального назначения, придав им интеллектуальные способности.

Например, позволит самостоятельно совершенствовать заложенное в них программное обеспечение, причем, иногда даже осуществлять «самостоятельное перепрограммирование» в ситуациях, реакция на которые изначально алгоритмически не заложена (не предусмотрена) в данные комплексы и средства. Позволит «интуитивно» принимать решения по процедурам связи и автоматизации в разнообразных и быстро изменяющихся условиях, опираясь, аналогично человеку, на неполные и зашумленные исходные данные [12].

Все это накладывает свой отпечаток на решение задач анализа условий, ограничений и возможных критериев выбора современных технологий ИИ в интересах построения и совершенствования техники средств связи (ТСС) и автоматизации управления (АУ) специального назначения (СН), на формулировку сущности и содержания этапов общей методики выбора таких технологий, делает эти задачи важными, актуальными.

#### **Этапы общей методики и критерии выбора современных технологий искусственного интеллекта в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления**

Выбор технологий ИИ в интересах построения и совершенствования ТСС и АУ СН должен включать следующие основные этапы:

Этап I. Анализ и определение границ применимости современных технологий ИИ и условий выбора этих технологий в интересах построения и совершенствования ТСС и АУ СН.

Этап II. Формулировка критериев выбора конкретных современных технологий ИИ в интересах построения и совершенствования ТСС и АУ СН.

Этап III. Определение базовых и специальных требований при выборе современных технологий искусственного интеллекта в интересах развития систем (комплексов, средств) связи и автоматизации управления.

Этап IV. Анализ альтернативных технологий ИИ в интересах проектирования и построения перспективной ТСС и АУ СН.

Этап V. Рассмотрение и учет факторов, влияющих на выбор современных технологий ИИ в интересах построения и совершенствования ТСС и АУ СН.

Этап VI. Непосредственно выбор современной технологии ИИ и аппаратно-программных средств для реализации этой выбранной технологии ИИ в интересах построения и совершенствования ТСС и АУ СН.

Выбор состава (элементов, направлений) технологий ИИ в интересах развития систем (комплексов, средств) связи и автоматизации управления, обусловлен целью построения и совершенствования систем такого класса, а также рядом дополнительных условий, в которых проектирование и построение ТСС и АУ СН будет реализовано (наличие финансовых средств и стоимость ресурсов, рабочей силы), а также фактическим и потенциальным уровнем развития технологий ИИ. При этом предпочтения для задач проектирования и построения ТСС и АУ СН, по нашему мнению, могут быть отданы следующим технологиям ИИ:

– технология машинного обучения – способность к обработке данных и принятию решений, вне зависимости от строго обозначенных схем. Система ИИ, основанная на этой технологии, может обнаружить закономерности, точные ответы и грамотные прогнозы в заданиях с обширными параметрами, на что не способен человек;

– технология глубокого обучения – способность к нахождению закономерности в огромных массивах информации (*Big Data*). При этом чаще всего обработкой данных в технологии глубокого обучения занимаются искусственные нейронные сети (ИНС), которые созданы по подобию биологических нейронных сетей, они моделируют и обрабатывают входные и выходные сигналы;

– технологии обработки и генерации естественного языка – то, что позволяет преобразовать данные в естественный язык, который расшифровывает компьютер, а потом выдает человеку в том же понятном ключе;

– интеллектуальные рекомендательные системы – комплекс сервисов и программ, который анализирует предпочтения пользователей и пытается предсказать, что может их заинтересовать. Они не только помогают пользователям определиться с выбором товара или контента, но и помогают повысить достоверность принятия решений, например, в сфере построения и совершенствования ТСС и АУ СН;

– технологии компьютерного зрения – технологии создания программно-аппаратных средств, которые могут осуществлять визуальное обнаружение, отслеживание и классификацию объектов, т. е., это сфера ИИ, связанная с анализом изображений и видео и включающая множество методов, способствующих извлечению информации из «увиденного»;

– биотехнические технологии – сложные интеллектуальные технологии (и системы), включающие биологические и технические (компьютерные) компоненты, которые функционируют совместно для достижения общей цели;

– технологии нейронных сетей – технологии создания сетей или схем биологических нейронов. Это важный инструмент нескольких технологий ИИ – искусственные нейронные сети, состоящие из искусственных узлов-вычислителей (нейронов).

Отдельные задачи решают технологии, сочетающие в себе искусственный интеллект и робототехнику. Причем технологии роботов, совместимые с ИИ – сложные технологии, с помощью которых электронные устройства, программы и роботы могут решать различные задачи по заданным алгоритмам, включая задачи по связи и автоматизации. В этой связи, в рамках этапа формулировки критериев выбора конкретных технологий ИИ в интересах построения и совершенствования ТСС и АУ СН, необходимо вначале определиться с критериями, к которым, на наш взгляд, целесообразно отнести:

1) Масштаб и вид проекта по развитию и построению перспективных систем (комплексов, средств) связи и автоматизации управления, по построению и совершенствованию ТСС и АУ СН на основе технологий ИИ.

2) Трудоемкость и техническая сложность построения и совершенствования ТСС и АУ СН с использованием технологий ИИ.

3) Темп (быстрота, скорость) построения и совершенствования ТСС и АУ СН с использованием технологий ИИ.

4) Наличие специалистов с высоким уровнем компетентности в области технологий ИИ при построении и совершенствовании ТСС и АУ СН.

5) Популярные и, главное, легко доступные инструменты разработки технологий ИИ, способные повысить эффективность ТСС и АУ СН, повысить качество перспективных систем (комплексов, средств) связи и автоматизации управления.

6) Существование готовых решений на основе технологий ИИ, которые могут быть применены для построения и совершенствования ТСС и АУ СН.

7) Адаптивность (пластичность, гибкость) решений на основе технологий ИИ, которые могут быть использованы для построения и совершенствования ТСС и АУ СН.

8) Наличие опыта, умений и навыков использования технологий ИИ, которые могут быть применены для построения и совершенствования ТСС и АУ СН.

9) Отказоустойчивость аппаратно-программных механизмов на основе технологий ИИ, которые могут быть применены для построения и совершенствования ТСС и АУ СН;

10) Тенденция развития конкретных технологических решений и аппаратно-программных механизмов на основе технологий ИИ, которые могут быть применены для построения и совершенствования ТСС и АУ СН.

11) Обладание подробной и детальной документацией по технологиям ИИ, которые могут быть применены для построения и совершенствования ТСС и АУ СН.

12) Уровень цены (стоимость) поддержки технологий ИИ, которые могут быть применены для построения и совершенствования ТСС и АУ СН.

13) Диапазон и нагрузки, с которыми могут и должны справиться технические решения на основе технологий ИИ, применяемые для построения и совершенствования ТСС и АУ СН.

14) Способность к интеграции с иными программно-аппаратными решениями на основе технологий ИИ, применяемыми в рамках построения и совершенствования ТСС и АУ СН;

15) Условия и правила безопасности конкретных технологических решений и аппаратно-программных механизмов на основе технологий ИИ, которые могут быть применены для построения и совершенствования ТСС и АУ СН.

16) Независимость решений на основе технологий ИИ, которые могут быть применены для построения и совершенствования ТСС и АУ СН, от программно-аппаратной платформы, на которой данные технологии реализованы.

В рамках этапа определения базовых и специальных требований при выборе технологий искусственного интеллекта в интересах развития систем (комплексов, средств) связи и автоматизации управления, считать [13]:

– возможность переориентации конкретной технологии ИИ на потребление отечественных ресурсов, что позволит этой технологии, планируемой к применению для построения и совершенствования ТСС и АУ СН, избавиться от импортной программно-аппаратной зависимости.

– унифицированность технологий ИИ и их соответствие международным и отечественным стандартам, что позволяет эффективно применить эти технологии при построении и совершенствовании ТСС и АУ СН;

– независимость использования конкретной технологии, особенно технологии ИИ, планируемой к применению для построения и совершенствования ТСС и АУ СН, от уровня развития государства, где создается эта технология.



**Стадии анализа альтернативных технологий ИИ и факторы,  
влияющие на выбор этих технологий в интересах построения и совершенствования  
техники средств связи и автоматизации управления**

Процесс реализации одного из важнейших этапов общей методики выбора современных технологий ИИ – анализ альтернативных технологий в интересах проектирования и построения перспективной ТСС и АУ СН, может и должен, на наш взгляд, осуществляться в ходе трех отдельных стадий:

– стадии описания процесса проектирования и построения перспективной ТСС и АУ СН, включая подробную характеристику каждого его элемента в эксплуатационных режимах систем (комплексов, средств) связи и автоматизации управления;

– стадии анализа сравнительных характеристик технологий ИИ, планируемых к применению для построения и совершенствования ТСС и АУ СН, рассмотрения их преимуществ, недостатков и аргументации выбора альтернатив;

– стадии оценки в проектных условиях потенциальной эффективности использования выбранной технологии ИИ для построения и совершенствования ТСС и АУ СН.

При этом факторы, влияющие на выбор технологий ИИ в интересах построения и совершенствования ТСС и АУ СН, могут быть сгруппированы (классифицированы) и будут учитываться по следующим признакам:

– возможность (доступность) использования соответствующего программного обеспечения технологий ИИ для построения и совершенствования ТСС и АУ СН, для его применения в технологическом процессе модернизации систем (комплексов, средств) связи и автоматизации управления;

– существование и наличие соответствующих аппаратных средств для реализации технологий и создания систем ИИ в интересах построения и совершенствования ТСС и АУ СН;

– имеющее место в настоящее время требования к производственному процессу, нацеленному на реализацию технологий и систем ИИ в интересах построения и совершенствования ТСС и АУ СН;

– заранее заданные параметры качества и показатели эффективности функционирования перспективной ТСС и АУ СН, использующей технологии ИИ;

– известный масштаб проекта построения перспективной ТСС и АУ СН, использующей технологии ИИ, его технологическая структура, степень автоматизации проектного производства;

– наличие необходимой инфраструктуры для построения перспективной ТСС и АУ СН, использующей технологии ИИ.

Очевидно, что все эти факторы рассматриваются с точки зрения возможности увеличения эффективности функционирования перспективных ТСС и АУ СН с учетом всех возможных видов затрат.

При анализе альтернатив необходимо сравнить различные технологии ИИ по таким критериям, как цена, преимущества и недостатки. Лишь затем можно с достаточной долей достоверности обосновать выбор технологии ИИ, соответствующей условиям, в которых будет реализовываться проект по построению перспективной и совершенствованию существующей ТСС и АУ СН.

Альтернативные варианты технологий искусственного интеллекта, предлагаемые к рассмотрению, должны включать прогнозы развития этих технологий, краткосрочное и долгосрочное обязательство технической поддержки внедренных технологий в ТСС и АУ СН и рапорта производителей о предыдущем опыте в применении этих технологий, главным образом о применении в аналогичных условиях и, желательно, в таком же масштабе [13].

После окончательного выбора конкретной технологии ИИ в интересах построения и совершенствования ТСС и АУ СН следует определить, какие именно аппаратно-программные средства будут использованы для реализации проекта.

Главными принципами определения потребности в аппаратно-программных средствах для реализации выбранной технологии ИИ в рамках построения и совершенствования ТСС и АУ СН являются: надежность программных средств; номинальная мощность аппаратных средств; возможности аппаратно-программных средств (степень нагрузки на различных технологических этапах производства и эксплуатации).

При этом выбор аппаратно-программных средств для реализации выбранной технологии ИИ в рамках построения и совершенствования ТСС и АУ СН нужно проводить, учитывая существующие ограничения: квоты на потребление материалов, сложность импорта отдельных видов оборудования и программного обеспечения, государственная политика поддержки отечественных производителей аппаратно-программных средств, которая ограничивает использование импортного оборудования и программ.

### **Выводы**

Анализ особенностей и роли некоторых технологий ИИ в интересах построения и совершенствования ТСС и АУ СН, анализ этапов, условий, ограничений и возможных критериев выбора этих современных технологий для развития систем (комплексов, средств) связи и автоматизации показывает, что данные технологии не только доступны и применимы для модернизации систем связи и АСУ, но и способны существенно поднять эффективность функционирования систем такого класса, причем на качественно новый уровень.

Это доказывают как уже давно существующие позитивные примеры применения некоторых наиболее распространенных технологий ИИ в оборонной сфере, так и результаты тестовых, предварительных и, зачастую, экспериментальных исследований, посвященных вопросам потенциального внедрения нетипичных для военной сферы технологий искусственного интеллекта, например технологий на базе генетических алгоритмов.

С учетом этого сформулирована сущность и предложено содержание этапов общей методики выбора современных технологий ИИ в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения. Предполагается, что выбранные на основе данной методики технологии позволят улучшить результативность построения и совершенствования систем такого класса, а также смогут повысить эффективность их применения.

Определены и сформулированы критерии выбора современных технологий ИИ в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления, предложены требования, которым должны соответствовать процедуры выбора конкретных интеллектуальных технологий.

Сформулировано содержание задач, решаемых на различных стадиях анализа альтернативных технологий ИИ в интересах проектирования и построения перспективной ТСС и АУ СН, определены факторы, влияющие на решение подобных задач.

Результаты исследований и представленный подход к формулировке и реализации этапов выбора, учету условий, ограничений и соблюдению требований (критериев) по выбору современных технологий искусственного интеллекта позволяют на основе единых системных позиций сформировать работоспособные варианты и робастные алгоритмы поиска, анализа и эффективного практического внедрения данных технологий в технику средств связи и автоматизации управления специального назначения.

### **Литература**

1. Абашева О. Ю., Амирова Э. Ф., Беляева С. В. и др. Цифровая экономика и сквозные цифровые технологии: современные вызовы и перспективы экономического, социального и культурного развития / Под ред. И. А. Бондаренко, А. Н. Полетайкина. Самара: ООО НИЦ «ПНК», 2020. 297 с.

2. Шевченко А. В. Обзор «сквозных» технологий в Российской Федерации // Вопросы студенческой науки. 2019. №7 (35). С. 14-17.
3. Макушкин А. Г., Осоченко Е. А. Атлас сквозных технологий цифровой экономики России. М.: АО «Гринатом». 2019. 372 с.
4. Парашук И. Б., Салюк Д. В. Анализ особенностей и роли современных «сквозных» цифровых технологий в построении и совершенствовании техники средств связи и автоматизации управления специального назначения // Техника средств связи. 2022. № 2 (158). С. 13-21.
5. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р «Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. 2017. № 32. Ст. 5138.
6. Боровская Е. В., Давыдова Н. А. Основы искусственного интеллекта: учебное пособие. 4-е изд. М.: Лаборатория знаний, 2020. 130 с.
7. Остроух А. В. Введение в искусственный интеллект: монография. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2020. 250 с.
8. ГОСТ Р 59277-2020 Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта. М.: Стандартинформ. 2021. 16 с.
9. Филипова И.А. Правовое регулирование искусственного интеллекта: учебное пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2020. 90 с.
10. Михайличенко Н. В., Парашук И. Б., Михайличенко А. В. Информационная безопасность мобильных центров обработки данных: этапы разработки методики анализа в условиях неопределенности // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2021) XII-я Санкт-Петербургская Межрегиональная конференция. Санкт-Петербург, 27-29 октября 2021 г., Материалы конференции, – СПб.: СПОИСУ, 2021. С. 175-177.
11. Федорченко Е. В., Парашук И. Б. Анализ защищенности систем промышленного Интернета вещей в условиях неопределенности входной информации безопасности // Региональная информатика и информационная безопасность. Сб. тр.. Вып. 10 / СПОИСУ. – СПб.: 2021. С. 113-117.
12. Парашук И. Б., Михайличенко А. В., Крюкова Е. С. Анализ зашумленных и неоднородных данных о значениях параметров надежности дата-центров // Современные технологии: актуальные вопросы теории и практики: сборник статей Международной научно-практической конференции. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2021. С. 74-77.
13. Буренок В. М. Проблемы применения систем с искусственным интеллектом в военном деле // Известия РАРАН. № 4 (119). 2021. С. 3-6.

### References

1. Abasheva O. Yu., Amirova E. F., Belyaeva S. V. i dr. *Cifrovaya e`konomika i skvozny`e cifrovyye texnologii: sovremennyye vy`zovy` i perspektivy` e`konomicheskogo, social`nogo i kul`turnogo razvitiya* [Digital economy and end-to-end digital technologies: current challenges and prospects for economic, social and cultural development] / Pod red. I. A. Bondarenko, A. N. Poletajkina. Samara. ООО NICz «PNK», 2020. 297 p. (In Russian).
2. Shevchenko A. V. *Obzor «skvozny`x» texnologij v Rossijskoj Federacii* [Overview of «end-to-end» technologies in the Russian Federation]. *Voprosy` studencheskoj nauki*, №7 (35), 2019, Pp. 14–17. (In Russian).
3. Makushkin A. G., Osochenko E. A. *Atlas skvozny`x texnologij cifrovoj e`konomiki Rossii* [Atlas of end-to-end technologies of the digital economy of Russia]. Moscow. АО «Grinatom». 2019. 372 p. (In Russian).
4. Parashchuk I. B., Salyuk D. V. *Analiz osobennostej i roli sovremenny`x «skvozny`x» cifrovyy`x texnologij v postroenii i sovershenstvovanii texniki sredstv svyazi i avtomatizacii upravleniya special`nogo naznacheniya* [Analysis of the features and role of modern "end-to-end" digital technologies in the construction and improvement of communication equipment and automation of special-purpose control]. *Means of Communication Equipment*. 2022. No. 2 (158). Pp. 13–21. (In Russian).
5. *Rasporyazhenie Pravitel`stva RF ot 28.07.2017 № 1632-r «Ob utverzhdenii programmy` «Cifrovaya e`konomika Rossijskoj Federacii»* [Decree of the Government of the Russian Federation dated 28.07.2017 No. 1632-r «On the approval of the program «Digital Economy of the Russian Federation»]. *Sobranie zakonodatel`stva RF*, 2017. № 32. St. 5138. (In Russian).

6. Borovskaya E. V., Davy`dova N. A. *Osnovy` iskusstvennogo intellekta: uchebnoe posobie* [The basics of artificial intelligence: a textbook]. Moscow. Laboratoriya znaniy Publ. 2020. 130 p. (In Russian).
7. Ostroux A. V. *Vvedenie v iskusstvenny`j intellekt: monografiya* [Introduction to Artificial Intelligence: monograph]. Krasnoyarsk. Nauchno-innovacionny`j centr Publ., 2020. 250 p. (In Russian).
8. *GOST R 59277-2020 Sistemy` iskusstvennogo intellekta. Klassifikaciya sistem iskusstvennogo intellekta* [Artificial intelligence systems. Classification of artificial intelligence systems]. Moscow. Standartinform Publ. 2021. 16 p. (In Russian).
9. Filipova I. A. *Pravovoe regulirovanie iskusstvennogo intellekta: uchebnoe posobie* [Legal regulation of artificial intelligence: textbook]. Nizhnij Novgorod: Nizhegorodskij gosuniversitet Publ. 2020. 90 p. (In Russian).
10. Mixajlichenko N. V., Parashchuk I. B., Mixajlichenko A. V. *Informacionnaya bezopasnost` mobil`ny`x centrov obrabotki danny`x: e`tapy` razrabotki metodiki analiza v usloviyax neopredelennosti* [Information security of mobile data centers: stages of development of an analysis methodology under uncertainty]. *Informacionnaya bezopasnost` regionov Rossii (IBRR-2021)* [Information security of Russian regions] XII-ya Sankt-Peterburgskaya Mezhhregional`naya konferenciya. Sankt-Peterburg, 27-29 oktyabrya 2021 g., *Materialy` konferencii*. Sankt-Peterburg. SPOISU, 2021. Pp. 175–177. (In Russian).
11. Fedorchenko E. V., Parashchuk I. B. *Analiz zashhishhennosti sistem industrial`nogo Interneta veshhej v usloviyax neopredelennosti vkhodnoj informacii bezopasnosti* [Analysis of the security of industrial Internet of Things systems under conditions of uncertainty of security input information]. *Regional`naya informatika i informacionnaya bezopasnost`* [Regional informatics and information security]. *Sbornik trudov*. V. 10. SPOISU. Sankt-Peterburg. 2021. Pp. 113–117. (In Russian).
12. Parashchuk I. B., Mixajlichenko A. V., Kryukova E. S. *Analiz zashumlenny`x i neodnorodny`x danny`x o znacheniyax parametrov nadezhnosti data-centrov* [Analysis of noisy and heterogeneous data on the values of data center reliability parameters]. *Sovremenny`e texnologii: aktual`ny`e voprosy` teorii i praktiki: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Modern technologies: topical issues of theory and practice: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference]. Penza. MCzNS «Nauka i Prosveshhenie» Publ. 2021. Pp. 74-77. (In Russian).
13. Burenok V. M. *Problemy` primeneniya sistem s iskusstvenny`m intellektom v voennom dele* [Problems of using systems with artificial intelligence in military affairs]. *Izvestiya RARAN* [Izvestia RARAN]. 2021. № 4 (119). Pp. 3–6. (In Russian).

Статья поступила 02 февраля 2023 г.

### Информация об авторах

*Елизаров Вячеслав Владимирович* – Кандидат технических наук. Заместитель начальника отдела ООО «СТЦ». Область научных интересов: проектирование и разработка автоматизированных систем специального назначения; технологии сбора и обработки информации. Тел.: +7 911 227 90 95. E-mail: m\_els@mail.ru.

*Паращук Игорь Борисович* – Доктор технический наук, профессор, Заслуженный изобретатель Российской Федерации. Профессор кафедры (автоматизированных систем специального назначения) Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Область научных интересов: мониторинг информационных и телекоммуникационных систем; сетевые технологии; комплексы и средства защиты информации. Тел.: +7 911 944 36 88. E-mail: shchuk@rambler.ru.

*Салюк Дмитрий Владиславович* – кандидат технических наук, доцент. Начальник отдела ПАО «Интелтех». Область научных интересов: проектирование и разработка автоматизированных систем специального назначения, сетевые технологии. Тел.: +7 921 794 10 64. E-mail: salukdv@rambler.ru.

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

## Analysis of the stages and criteria for the selection of modern artificial intelligence technologies in the interests of building and improving communication equipment and control automation of special purpose

V. V. Elizarov, I. B. Parashchuk, D. V. Salyuk

**Abstract. Task statement:** a detailed synopsis and a detailed system analysis in the field of modern artificial intelligence technologies and the methodology of their selection in the interests of building and improving communication equipment and automation of special-purpose control. Study of conditions and formulation of possible limitations and criteria for the choice of options for the use of artificial intelligence technologies in systems of this class. **Novelty:** consists in the fact that the object of research is modern artificial intelligence technologies, with special emphasis on the analysis of conditions, limitations and possible criteria for the selection of these technologies in the interests of building and improving the technology of communication and control automation, on the formulation of the essence and content of the stages of the general methodology for the selection of such technologies. **The purpose** of the work is to analyze existing approaches and develop new options for implementing decision support procedures for a reasoned, multi-criteria choice of specific artificial intelligence technologies to ensure increased efficiency of communication equipment and automation of special-purpose control. **The result:** is that a variant of practical filling is proposed (the essence and content are described) of the stages of the general methodology for choosing modern artificial intelligence technologies in the interests of building and improving communication and control automation technology, conditions, limitations and possible selection criteria are defined that can and should really increase the efficiency of communication and automation equipment of this class. **Practical significance:** the research results and the presented approach to the analysis of the stages, conditions, limitations and criteria for the selection of modern artificial intelligence technologies allow us to form reasonable options for the real practical implementation of these technologies in communication and automation technology from a unified system standpoint, which, in turn, will allow us to raise the efficiency of the functioning and application of systems of this class to a completely new level.

**Keywords:** artificial intelligence technologies, communication equipment, construction and improvement, control automation, methodology, selection criteria.

### Information about Authors

Vyacheslav Vladimirovich Yelizarov – Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of the department of LLC "STC". Research interests: design and development of automated systems for special purposes; technologies for collecting and processing information. Tel.: +7 911 227 90 95 . E-mail: m\_els@mail.ru.

Igor Borisovich Parashchuk – Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of the Russian Federation. Professor of the Department (Automated Special purpose Systems) of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny. Research interests: monitoring of information and telecommunication systems; network technologies; complexes and means of information protection. Tel.: +7 911 944 36 88. E-mail: shchuk@rambler.ru

Dmitry Vladislavovich Salyuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Head of the Department of PJSC «Inteltech». Research interests: design and development of automated systems for special purposes, network. Tel.: +7 921 794 10 64. E-mail: salukdv@rambler.ru.

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

**Для цитирования:** Елизаров В. В., Парашчук И. Б., Салюк Д. В. Анализ этапов и критериев выбора современных технологий искусственного интеллекта в интересах построения и совершенствования техники средств связи и автоматизации управления специального назначения // Техника средств связи. 2023. № 1 (161). С. 60-68. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-60-68.

**For citation:** Elizarov V. V., Parashchuk I. B., Salyuk D. V. Analysis of the stages and criteria for the selection of modern artificial intelligence technologies in the interests of building and improving communication equipment and control automation of special purpose. Means of Communication Equipment. 2023. No. 1 (161). Pp. 60-68. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-60-68. (in Russian).

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

УДК 332.1

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-69-77

**Качество оценивания двоичных случайных последовательностей  
в условиях пропусков в наблюдаемых данных**

Дементьев А. Н., Глушкин В. А.

**Аннотация.** В статье ставится задача обосновать преимущества метода оценивания двоичных марковских процессов относительно оценок, получаемых на основе биномиальной модели. **Целью работы** является получение оценок качества марковской модели стационарного двоичного случайного процесса и метода оценивания односвязной двоичной цепи Маркова на ее основе. Полученные оценки позволяют характеризовать качество процесса оценивания элементов матриц переходных вероятностей в условиях пропусков в наблюдаемых данных и прогнозировать качество декодирования помехоустойчивых кодов в дискретных каналах связи с памятью. **К результатам работы** следует отнести зависимости от вероятности одномерной двоичной случайной величины, характеризующие полученные оценки в сравнении с оценками на основе биномиальной модели. Приведены теоретические результаты, позволившие получить представленные взаимосвязи между значением одномерной двоичной случайной величины и дисперсией оцениваемых параметров. **Практическая значимость** работы заключается в возможности применения полученных результатов на этапе проектирования декодеров помехоустойчивых кодов в каналах связи с памятью.

**Ключевые слова:** двоичная цепь Маркова, оценивание распределений двоичных векторов, качество оценивания

**Актуальность**

Высокие темпы информатизации современного общества обусловили значительное увеличение спроса на телекоммуникационные услуги. В условиях ограничений на частотно-энергетический ресурс увеличение удельных скоростей передачи информации в системах передачи информации (СПИ) при обеспечении заданных требований к достоверности приема сообщений требует повышения информационной эффективности СПИ. С точки зрения общей теории связи, представленной в классической работе Шеннона [1], проблема повышения информационной эффективности СПИ обусловлена, в первую очередь, неадекватностью используемых моделей каналов связи реальным каналам, обладающим памятью.

Так, на этапе декодирования помехоустойчивых кодов, часто возникает потребность в получении и использовании оценок модели источника ошибок в дискретных каналах связи (ДКС). При этом большинство реальных каналов радиосвязи представляют собой каналы с памятью [2], что на уровне дискретного канала связи, являющихся отображением непрерывных каналов, приводит к наличию корреляционных связей у источников ошибок. Источники ошибок в ДКС адекватно описываются моделями на основе математического аппарата многомерных цепей Маркова.

В [3] предложена марковская модель стационарного двоичного случайного процесса и метод оценивания на ее основе, позволяющие получить состоятельные, несмещенные и эффективные [4] оценки двоичных случайных процессов по выборкам с пропусками в наблюдаемых данных. Указанная модель на основе получения условий сходимости к финальным распределениям вероятностей определяет зависимости между вероятностями двоичных векторов, размерность которых отличается на 1, что позволило синтезировать на

её основе метод оценивания для односвязных двоичных цепей Маркова, пригодный для использования в случае пропусков в наблюдаемых данных.

В рамках указанного метода оценивания в качестве исходных данных используется оценка финальной вероятности одномерной двоичной случайной величины  $p(0)$ , на основе которой получают оценки элементов матрицы переходных вероятностей односвязной двоичной цепи Маркова, определяемые выражениями

$$\hat{p}(0/0) = \begin{cases} 0,5 & \text{при } p(0) < 0,5 \\ 1 - \frac{p(1)}{2p(0)} & \text{при } p(0) \geq 0,5 \end{cases}, \quad (1)$$

$$\hat{p}(1/0) = 1 - \bar{p}(0/0) = 1 - \frac{p(0/0)_{\min} + 1}{2} = \frac{1 - p(0/0)_{\min}}{2}, \quad (2)$$

$$\hat{p}(0/1) = \frac{p(10)}{p(1)} = \frac{p(1/0)\bar{p}(0)}{1 - \bar{p}(0)} = \frac{(1 - \hat{p}(0/0))\bar{p}(0)}{1 - \bar{p}(0)} = \frac{\left(1 - \frac{p(0/0)_{\min} + 1}{2}\right)\bar{p}(0)}{1 - \bar{p}(0)}, \quad (3)$$

$$\hat{p}(1/1) = 1 - p(0/1) = 1 - \frac{\left(1 - \frac{p(0/0)_{\min} + 1}{2}\right)\bar{p}(0)}{1 - \bar{p}(0)}, \quad (4)$$

где

$$p(0/0)_{\min} = \begin{cases} 0 & \text{при } p(0) < 0,5 \\ \frac{p(0) - p(1)}{p(0)} & \text{при } p(0) \geq 0,5 \end{cases}. \quad (5)$$

### Постановка задачи

Несмотря на то, что в (3) доказана состоятельность, несмещенность и эффективность оценок элементов матрицы переходных вероятностей, определяемых выражениями (1)-(5), вопросы их качества в сравнении с оценками двоичных марковских процессов, получаемых на основе биномиальной модели, не рассматривался. Вышеуказанное обусловило необходимость исследования оценок качества предложенных оценок, как обязательного компонента, характеризующего статистические оценки. Формальная постановка задачи имеет следующий вид: Имеются оценки вида (1)-(5), применяемые в условиях наблюдений двоичного марковского процесса с пропусками данных и зависящие от оценки параметра  $\hat{p}(0)$ , получаемого частотным методом по наблюдаемой двоичной выборке. Требуется получить зависимости дисперсии, характеризующие качество оценок (1)-(5) в зависимости от значения параметра  $\hat{p}(0)$ , то есть зависимости эффективности процесса оценивания.

### Исследование качества оценивания двоичных марковских процессов

На рис. 1 представлены графические иллюстрации плотностей распределения случайной величины  $p(0/0)$  для общего (рис. 1, а) случая и условий, когда  $p(0) < p(1)$  (рис. 1, б) и  $p(0) \geq p(1)$  (рис. 1, в).

На рис. 2 графически представлена поверхность, отражающая зависимость плотности распределения переходной вероятности  $p(0/0)$  от абсолютной вероятности одномерной двоичной случайной величины  $p(0)$  для односвязной двоичной цепи Маркова.

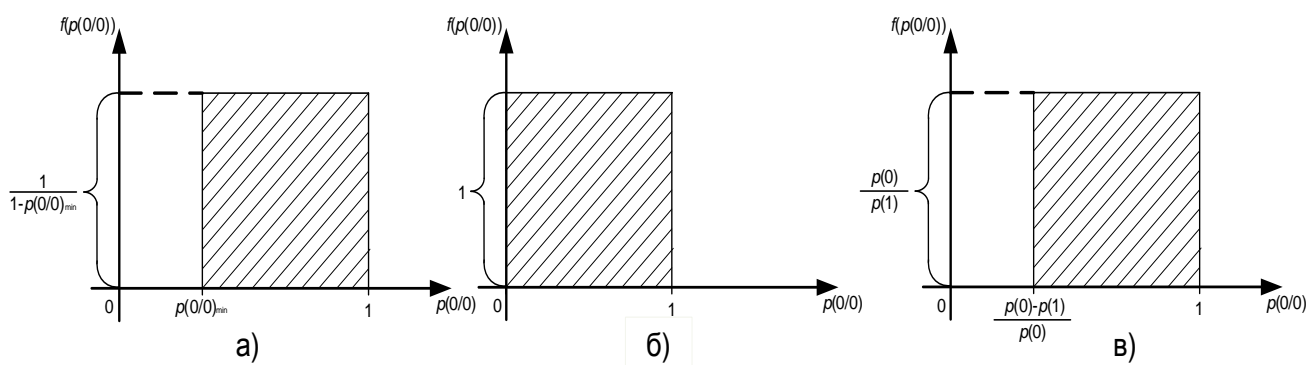


Рис. 1. Плотность распределения переходной вероятности  $p(0/0)$  для односвязной двоичной цепи Маркова

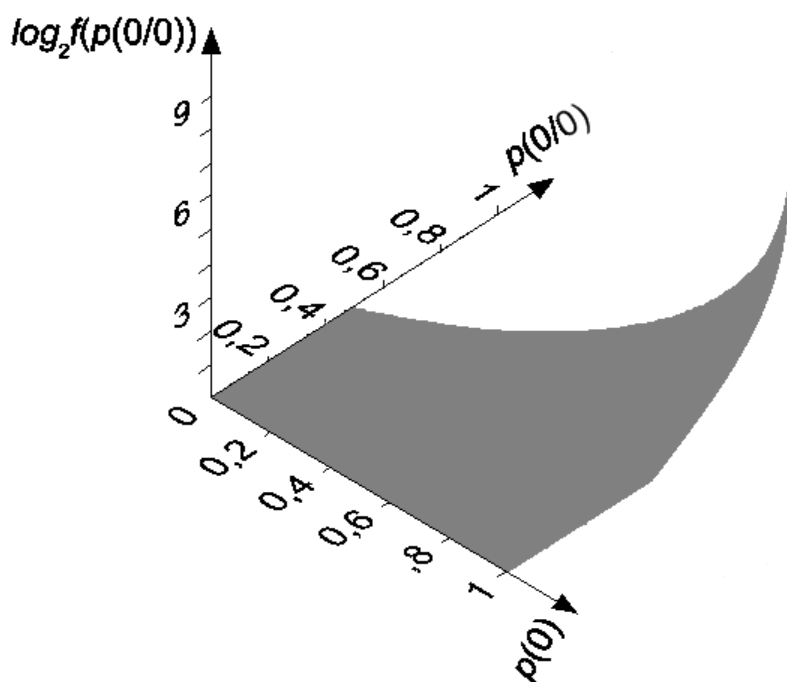


Рис. 2. Поверхность плотности распределения переходной вероятности  $p(0/0)$  для односвязной двоичной цепи Маркова

Соответствующие функции распределения  $p(0/0)$  для общего и частных случаев  $p(0) < p(1)$  и  $p(0) \geq p(1)$  определяются соответственно выражениями

$$F(p(0/0)) = \begin{cases} 0 & \text{при } p(0/0) < p(0/0)_{\min} \\ \frac{p(0/0) - p(0/0)_{\min}}{1 - p(0/0)_{\min}} & \text{при } p(0/0)_{\min} \leq p(0/0) \leq 1, \\ 1 & \text{при } p(0/0) > 1 \end{cases} \quad (6)$$

$$p(0) < 0,5 : F(p(0/0)) = \begin{cases} 0 & \text{при } p(0/0) < 0 \\ p(0/0) & \text{при } 0 \leq p(0/0) \leq 1, \\ 1 & \text{при } p(0/0) > 1 \end{cases} \quad (7)$$



$$p(0) \geq 0,5: F(p(0/0)) = \begin{cases} 0 & \text{при } p(0/0) < \frac{p(0)-p(1)}{p(0)} \\ 1 - \frac{p(0)}{1-p(0)}(1-p(0/0)) & \text{при } \frac{p(0)-p(1)}{p(0)} \leq p(0/0) \leq 1 \\ 1 & \text{при } p(0/0) > 1 \end{cases} \quad (8)$$

Графическая иллюстрация функции распределения переходной вероятности  $p(0/0)$  для общего и рассмотренных случаев представлена на рис. 3.

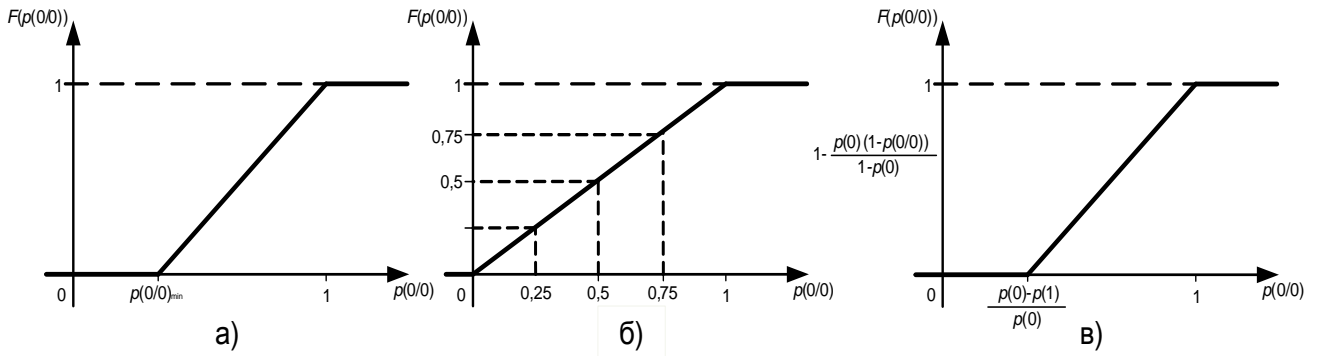


Рис. 3. Функция распределения переходной вероятности  $p(0/0)$  для односвязной двоичной цепи Маркова при  $p(0) > 0,5$

Известные выражения для моментов равномерно распределенной на известном интервале случайной величины [5] позволяют определить дисперсию, среднеквадратическое отклонение и математическое ожидание для общего и частных случаев  $p(0) < p(1)$  и  $p(0) \geq p(1)$  в виде следующих выражений для оценок переходной вероятности  $p(0/0)$

$$D_{p(0/0)} = \frac{1}{1-p(0/0)_{\min}} \int_{p(0/0)_{\min}}^1 \left( p(0/0) - \frac{p(0/0)_{\min} + 1}{2} \right)^2 dp(0/0) = \frac{(1-p(0/0)_{\min})^2}{12}, \quad (10)$$

$$D_{p(0/0)} = \begin{cases} \frac{1}{12} & \text{при } p(0) < 0,5 \\ \left( \frac{1-p(0)}{p(0)} \right)^2 / 12 & \text{при } p(0) \geq 0,5 \end{cases}, \quad (11)$$

$$\sigma_{p(0/0)} = \sqrt{D_{p(0/0)}} = \frac{1-p(0/0)_{\min}}{2\sqrt{3}}, \quad (12)$$

$$\sigma_{p(0/0)} = \begin{cases} \frac{1}{2\sqrt{3}} & \text{при } p(0) < 0,5 \\ \frac{p(1)}{2\sqrt{3}p(0)} & \text{при } p(0) \geq 0,5 \end{cases}, \quad (13)$$

$$m_{p(0/0)} = \int_{p(0/0)_{\min}}^1 \frac{p(0/0)}{1-p(0/0)_{\min}} dp(0/0) = \frac{p(0/0)_{\min} + 1}{2}. \quad (14)$$

Графически зависимость среднеквадратического отклонения и дисперсии переходной вероятности  $p(0/0)$  от вероятности двоичной случайной величины (ДСВ)  $p(0)$  представлена на рис. 4.

Выражения (1)-(5) позволяют получать пригодные оценки переходных вероятностей цепи Маркова первого порядка. Значения пригодных оценок финальных вероятностей  $n$ -мерных двоичных случайных величин определяется по правилу умножения условных вероятностей

$$\hat{p}(x_0, x_1, \dots, x_n) = p(x_0) \prod_{i=1}^n \hat{p}(x_i / x_{i-1}). \quad (15)$$

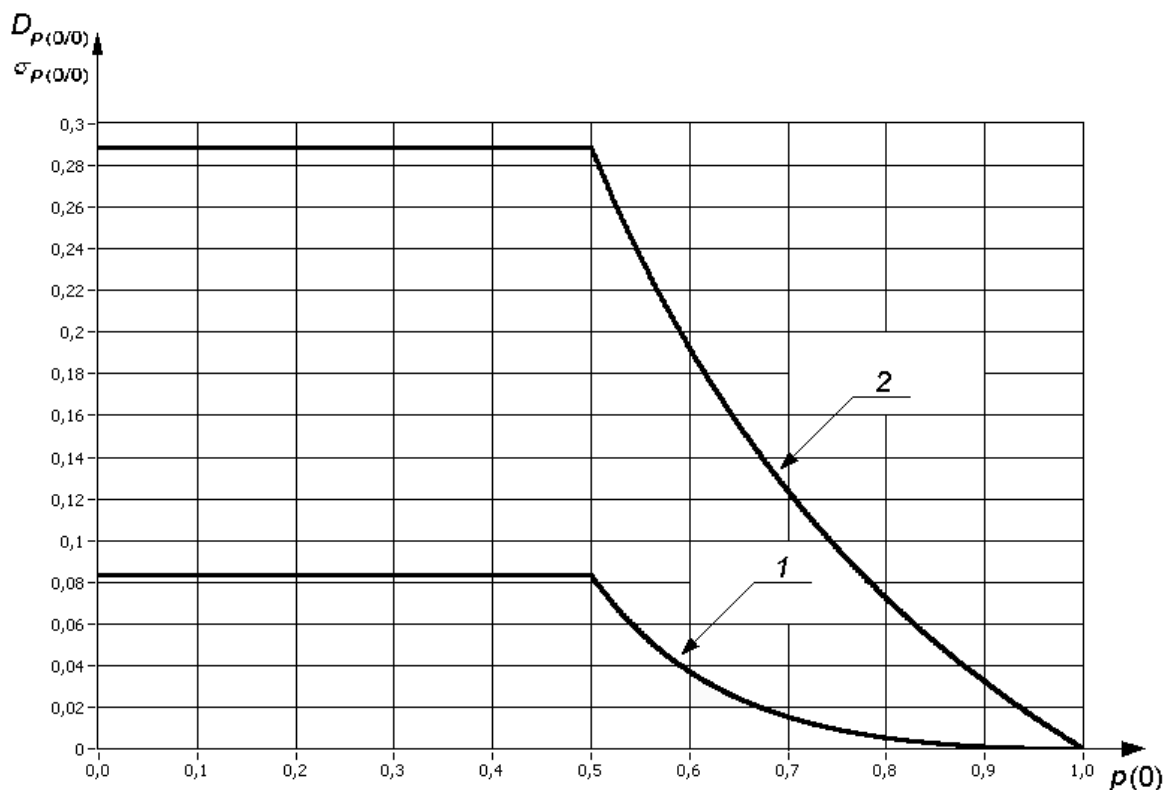


Рис. 4. Зависимость среднеквадратического отклонения (1) и дисперсии (2) переходной вероятности  $p(0/0)$  от вероятности одномерной двоичной случайной величины  $p(0)$

Тогда, например, оценки вероятности двумерной двоичной случайной величины  $\hat{p}(00)$  определяются системой

$$\left. \begin{aligned} p(0) < 0,5: & \quad \hat{p}(00) = p(0)\hat{p}(0/0) = \frac{p(0)}{2} \\ p(0) \geq 0,5: & \quad \hat{p}(00) = p(0)\hat{p}(0/0) = p(0)\left(\frac{p(0)-p(1)}{2p(0)} + \frac{1}{2}\right) = \frac{3p(0)-1}{2} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

На практике задачи оценивания параметров цепей Маркова требуется решать в условиях наличия априорной неопределенности относительно вероятностей одномерной случайной величины и выборки ограниченного объема. Возникает задача получения пригодных оценок вероятностей одномерной случайной величины. Пригодной оценкой одномерной двоичной случайной величины в данном случае является относительная частота события, точность и надежность которой связаны с объемом наблюдений по формуле Лапласа [5]. В результате оценки финальных вероятностей  $n$ -мерной ДСВ при

описании двоичного случайного процесса цепей маркова первого порядка определяются выражением

$$\hat{p}(x_0, x_1, \dots, x_n) = \hat{p}(x_0) \prod_{i=1}^n \hat{p}(x_i / x_{i-1}), \tag{17}$$

где  $\hat{p}(0)$  – относительная частота события, вычисляемая в соответствии с выражением

$$\hat{p}(0) = \frac{n}{N}, \tag{18}$$

где  $n$  – число «0» в обучающей выборке;  
 $N$  – объём обучающей выборки.

Сравним качество полученных оценок двоичных односвязных цепей Маркова и оценок, получаемых при аппроксимации цепей Маркова биномиальным законом. Рассмотрим дисперсию оценок  $p(00)$ . В общем случае дисперсия оценок определяется выражением

$$D_{\hat{p}(00)} = \frac{1}{p(0) - p(00)_{\min}} \int_{p(00)_{\min}}^{p(0)} (x - p^2(0))^2 dx. \tag{19}$$

Дисперсия оценок, получаемая в случае аппроксимации цепи Маркова биномиальным законом равна

$$D_{\hat{p}(00)} = \begin{cases} \frac{1}{p(0)} \int_0^{p(0)} (x - p^2(0))^2 dx = p^2(0) \left( p^2(0) - p(0) + \frac{1}{3} \right) \\ \frac{1}{1 - p(0)} \int_{2p(0)-1}^{p(0)} (x - p^2(0))^2 dx = p^4(0) - 3p^3(0) + \frac{10}{3} p^2(0) - \frac{5}{3} p(0) + \frac{1}{3} \end{cases}. \tag{20}$$

Для полученной оценки дисперсия имеет вид

$$D_{\hat{p}(00)} = \begin{cases} \frac{1}{p(0)} \int_0^{p(0)} \left( x - \frac{p(0)}{2} \right)^2 dx = \frac{p^2(0)}{12} \\ \frac{1}{1 - p(0)} \int_{2p(0)-1}^{p(0)} (x - p^2(0))^2 dx = \frac{(1 - p(0))^2}{12} \end{cases}. \tag{21}$$

На рис. 5 представлена зависимость эффективности оценивания в случаях использования моделей, построенных по схемам Бернулли и Маркова, а на рис. 6 – зависимость разницы дисперсий оценок вероятности двумерной двоичной случайной величины  $\hat{p}(00)$  от вероятности одномерной двоичной случайной величины  $p(0)$  для этих схем.

Поскольку величина минимального интервала «неопределенности» одинакова для всех двумерных двоичных случайных величин, рис. 6 справедлив и для оценок  $\hat{p}(01)$ ,  $\hat{p}(10)$ ,  $\hat{p}(11)$ . Рассмотрим математическое ожидание оценок. Для оценки величины смещенности оценки по биномиальному закону рассчитаем выражение

$$m_{\hat{p}(00)} = \begin{cases} p^2(0) - \frac{p(0)}{2} \text{ при } p(0) < 0,5 \\ p^2(0) - \frac{3p(0) - 1}{2} \text{ при } p(0) \geq 0,5 \end{cases}. \tag{22}$$

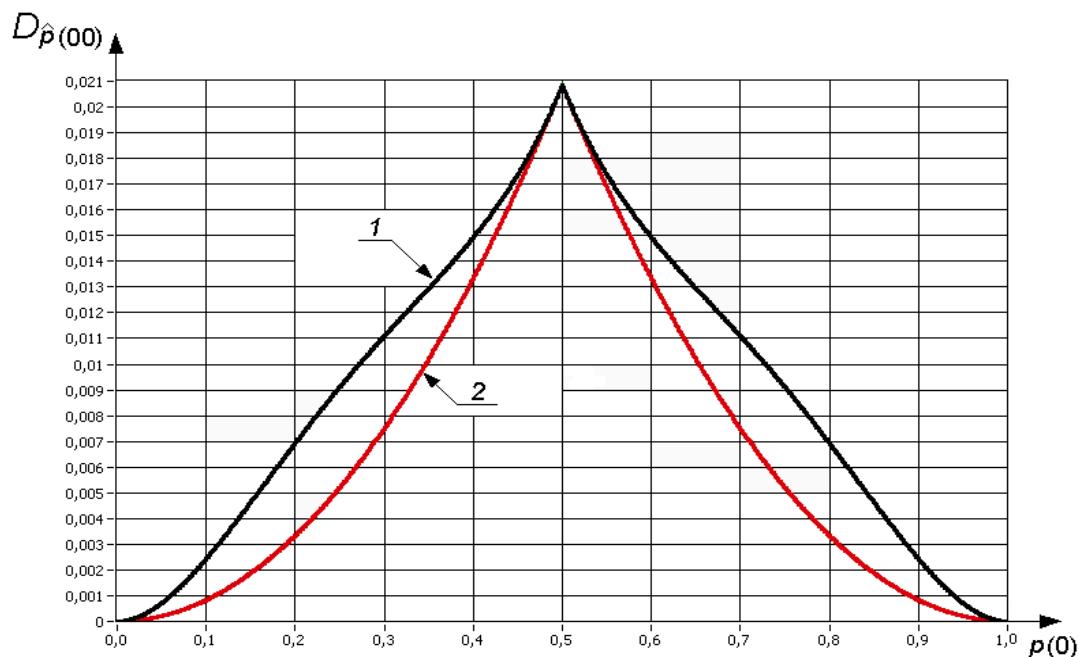


Рис. 5. Зависимость дисперсии оценки вероятности двумерной случайной величины  $\hat{p}(00)$  от вероятности одномерной случайной величины  $p(0)$  для схемы Бернулли (1) и двоичной односвязной цепи Маркова (2)

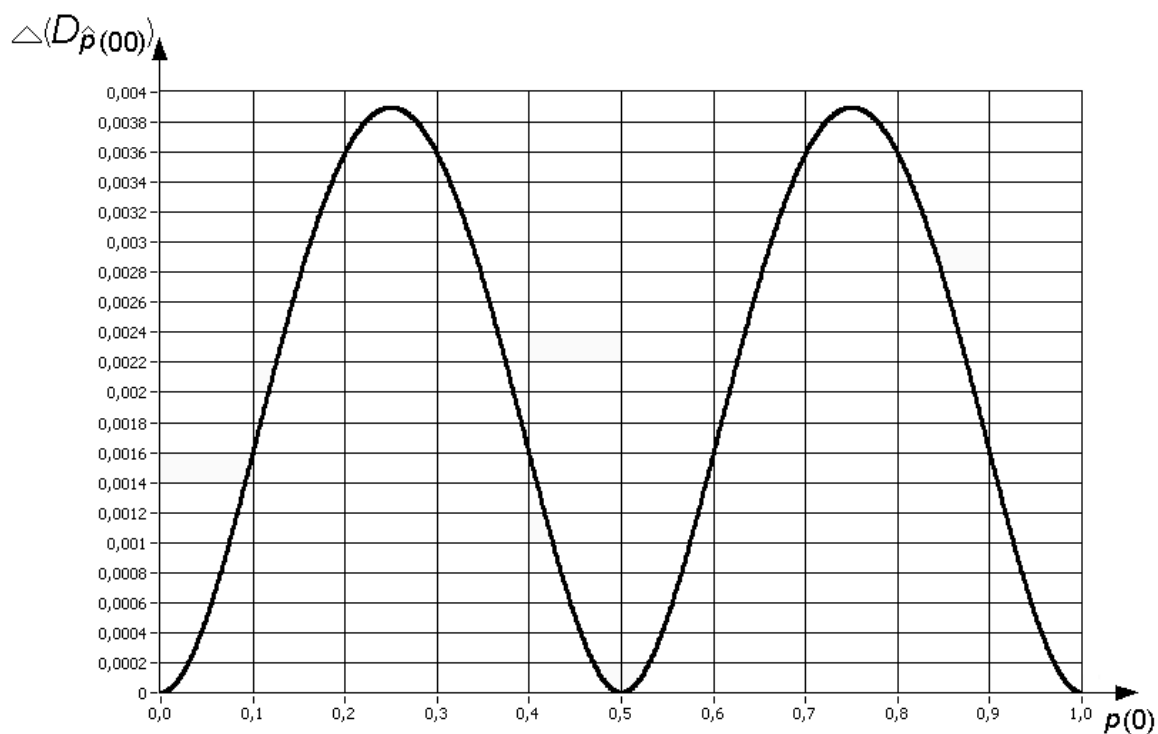


Рис. 6. Зависимость разницы дисперсий оценок вероятности двоичной ДСВ  $\hat{p}(00)$  от вероятности одномерной двоичной случайной величины  $p(0)$  для схемы Бернулли (1) и двоичной односвязной цепи Маркова (2)

Зависимость смещения оценки  $\hat{p}(00)$  при использовании биномиального закона распределения представлена на рис. 7

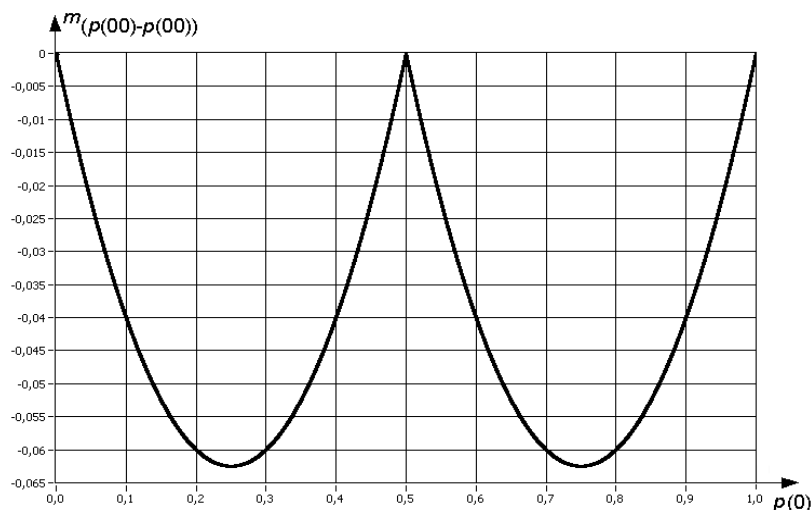


Рис. 7. Зависимость смещения оценки  $\hat{p}(00)$  при использовании биномиального закона распределения

### Выводы

Полученные зависимости подтвердили преимущества оценок двоичного марковского процесса в условиях пропусков в наблюдаемых данных на основе метода оценивания, учитывающего марковский характер выборок, относительно оценок на основе биномиальной модели, так как указанные оценки обладают меньшей дисперсией. В результате алгоритмы, реализующие процессы оценивания на основе этих оценок, способны обеспечить более адекватные реальной ситуации процессы принятия решений. К таким алгоритмам, например, относятся алгоритмы, реализующие методы вероятностного декодирования помехоустойчивых кодов в каналах связи с памятью, где оценки элементов матрицы переходных вероятностей характеризуют статистические свойства источников ошибок.

### Литература

1. Шеннон К. Математическая теория связи // Работы по теории информации и кибернетике. – М.: ИЛ, 1963. – С. 243-333.
2. Блох Э. Л., Попов О. В., Турин В. Я. Модели источника ошибок в каналах передачи цифровой информации. – М.: Связь, 1971.
3. Коньшев М. Ю., Баранов В. А., Близнак В. И. [и др.]. Методы анализа и синтеза двоичных случайных последовательностей. – Орёл: ФГКВОУ ВО «Академия ФСО России», 2020. – 120 с.
4. Юсупов Р. М., Петухов Г. Б., Сидоров В. Н., Городецкий В. И., Марков В. М. Статистические методы обработки результатов наблюдений. – М.: МО СССР, 1984. – 564 с.
5. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1977. – 478 с.

### References

1. Shannon K. Mathematical theory of communication. Works on information theory and cybernetics. Moscow. IL, 1963. Pp. 243-333. (in Russian).
2. Bloch E. L., Popov O. V., Turin V. Ya. Models of the source of errors in digital information transmission channels. Moscow. Communication, 1971. (in Russian).
3. Konyshchev M. Yu., Baranov V. A., Bliznyuk V. I. [et al.]. Methods of analysis and synthesis of binary random sequences. Orel. FGKVOU VO "Academy of FSO of Russia", 2020. 120 p. (in Russian).
4. Yusupov R. M., Petukhov G. B., Sidorov V. N., Gorodetsky V. I., Markov V. M. Statistical methods of processing the results of observations. Moscow. Ministry of Defense of the USSR, 1984. 564 p. (in Russian).
5. Gmurman V. E., Probability theory and mathematical statistics. Moscow. Higher School, 1977. 478 p. (in Russian).

Статья поступила 17 марта 2023 года

### Информация об авторах

*Дементьев Андрей Николаевич* – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского испытательного центра радиоэлектронных технологий РТУ МИРЭА – Российского технологического университета, Область научных интересов: методы анализа и синтеза радиоэлектронных систем. Тел. +7 903 250 04 21. E-mail: dementev@mirea.ru.

*Глускин Владимир Александрович* – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Научный сотрудник ЦНИИ ВКС МО РФ. Область научных интересов: декодирование помехоустойчивых кодов в каналах связи с группированием ошибок. Тел.: +7 977 392 48 45. E-mail: vgluskin@yandex.ru

Адрес: 143090, Россия, Московская обл., г. Краснознаменск, ул. Связистов, д.12., кв. 224.

### The quality of evaluation of binary random sequences in the conditions of omissions in the observed data

A. N. Dementev, V. A. Gluskin

**Annotation. Purpose:** to substantiate the advantages of the method of estimating binary Markov processes relative to estimates obtained on the basis of the binomial model. **Novelty:** Obtaining of quality estimates of the Markov model of a stationary binary random process and a method for evaluating a simply connected binary Markov chain based on it. **Results:** The obtained estimates allow us to characterize the quality of the process of evaluating elements of the transition probability matrices in the conditions of omissions in the observed data and predict the quality of decoding noise-resistant codes in discrete memory communication channels. The results of the work should include dependences on the probability of a one-dimensional binary random variable that characterize the estimates obtained in comparison with estimates based on the binomial model. Theoretical results are given that allowed us to obtain the presented relationships between the value of a one-dimensional binary random variable and the variance of the estimated parameters. **Practical relevance:** Possibility of applying the results obtained at the design stage of decoders of noise-resistant codes in memory communication channels.

**Keywords:** binary Markov chain, estimation of binary vector distributions, estimation quality.

### Information about Authors

*Andrey Nikolaevich Dementiev* – is a leading researcher at the Research and Testing Center for Radioelectronic Technologies of RTU MIREA – Russian Technological University, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor. Research interests: methods of analysis and synthesis of radioelectronic systems. Tel. +7 903 250 04 21 . E-mail: dementev@mirea.ru

*Gluskin Vladimir Aleksandrovich* – is a candidate for the degree of Candidate of Technical Sciences. Researcher of the Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Research interests: decoding of noise-resistant codes in communication channels with grouping of errors. Tel.: +7 977 392 48 45 . E-mail: vgluskin@yandex.ru

Address: 143090, Russia, Moscow region, Krasnoznamensk, Svyazistov str., 12., sq. 224.

**Для цитирования:** Дементьев А. Н., Глускин В. А. Качество оценивания двоичных случайных последовательностей в условиях пропусков в наблюдаемых данных // Техника средств связи. 2023. № 1 (161). С.69-77. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-69-77.

**For citation:** Dementev A. N., Gluskin V. A. The quality of evaluation of binary random sequences in the conditions of omissions in the observed data Means of Communication Equipment. 2023. No. 1 (161). Pp. 69-77 (in Russian). DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-69-77.

УДК 504.064.36

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-78-88

## Сбор и обработка больших данных в системах мониторинга информационно-телекоммуникационных сетей средствами технологии Hadoop

Будко Н. П., Васильев Н. В., Груздев А. А.

**Аннотация.** В статье ставится задача рассмотреть вопросы представления и обработки измерительной информации о техническом состоянии устройств распределенных информационно-телекоммуникационных систем и сетей на основе аналитики больших объемов данных (Big Data) с помощью технологии Hadoop. Целью работы является систематизация результатов обработки измерительной информации о состоянии элементов информационно-телекоммуникационных сетей в виде так называемых «витрин данных» в интересах ситуационного управления системой. **Используемые методы:** в работе используются методы на основе технологий On-line Analyzing Processing – интерактивного анализа данных, посредством OLAP-кубов и средств выборки данных и их визуализации на ситуационном центре ведомства (корпорации). **Новизна** обсуждаемого решения состоит в применении «витрин данных» о техническом состоянии устройств распределенной сетевой инфраструктуры, формируемых от нескольких серверов мониторинга, работающих под системами сетевого мониторинга. К **результатам** работы следует отнести: представленную структуру узла мониторинга, осуществляющего производство данных сервером мониторинга и их взаимосвязь; порядок формирования «витрины данных» в виде «таблицы событий» как «таблицы фактов» (в терминологии OLAP – кубов «таблица событий» это та же «таблица фактов» о состоянии объекта мониторинга). **Практическая значимость** работы заключается в предложенной реализации на ситуационном центре ведомства «витрин данных» средствами Hadoop на примере распределенной информационно-телекоммуникационной сети Министерства транспорта России и его Федеральных агентств.

**Ключевые слова:** Big Data, On-line Analyzing Processing, измерительная информация, информационно-телекоммуникационная сеть, Hadoop, сервер мониторинга, система мониторинга, техническое состояние.

### Введение

Все возрастающая роль ситуационного управления и широкое внедрение ситуационных центров (СЦ) при создании и развитии в Российской Федерации (РФ) экономики нового уклада на основе новых информационных технологий сегодня общепризнанный факт, зафиксированный во многих руководящих документах как уровня Президента России, так и Правительства РФ [1]. В то же время, на сегодня еще не все федеральные службы и агентства, а также федеральные органы исполнительной власти (ОИВ), имеют функционирующие по единому регламенту взаимодействия ситуационные центры, создаваемые согласно Указа Президента РФ № 648 от 25 июля 2013 г. [2]. При этом иерархически структура сети распределенных ситуационных центров органов ОИВ включает в себя три уровня: *высший уровень* (СЦ Президента РФ, СЦ Правительства РФ, СЦ Совета безопасности РФ и Администрации Президента РФ); *второй уровень* (СЦ руководителей министерств, полномочных представителей Президента РФ в федеральных округах; *третий уровень* (СЦ глав субъектов РФ, крупных предприятий) [2]. В тех ОИВ, где структуры СЦ уже созданы, программы цифровизации государственного управления развиваются более эффективно, поскольку обеспечивают переход от простого мониторинга к всестороннему и комплексному анализу развития экономики, долгосрочному планированию и прогнозу [2].

Применительно к такой критически важной инфраструктуре, как транспортная отрасль, (Министерство транспорта РФ) задача формирования сети распределенных СЦ не нова. На сегодня в каждом федеральном агентстве Минтранса уже функционируют

подобные элементы, спроектированные на информационно-телекоммуникационных сетях (ИТКС) общего пользования (ОП), объединяющие в свою структуру наземные сегменты систем связи и радиотехнического обеспечения при организации управления воздушным движением (ВД), развернутые вдоль железных и автомобильных дорог со средствами сигнализации и связи при управлении движением поездов (ДП) и автотранспортом, автоматизированных систем управления (АСУ) движением судов (ДС) в морских акваториях и на внутренних водных путях (ВВП) РФ.

Системы мониторинга подобного типа, построенные на основе распределенных СЦ министерств и ведомств, а также ОИВ регионов, на сегодня представляют из себя сложнейший информационно-технологический комплекс с распределенным сбором измерительной информации (ИИ) на местах (объектах мониторинга), передачей (трансляцией) ее на огромные географически протяженные расстояния и обработкой структурированных и неструктурированных данных огромных объемов (*Big Data*) в интересах систем поддержки принятия решений на ситуационное управление. Подобные системы обработки больших данных не могут работать в ручном режиме и по праву относятся к классу систем с интеллектуальным анализом данных (*Data Mining*), основными задачами которых являются: классификация; кластеризация; прогнозирование; анализ и обнаружение отклонений; их оценивание; визуализация и пр.

В статье представлено использование так называемых «витрин данных» на примере подсистемы мониторинга ИТКС ОП Федеральных агентств Росавиация, Росморречфлот, Росжелдор и Росавтодор Министерства транспорта Российской Федерации. При этом интеллектуальный анализ данных (*Data Mining*) осуществляется на ситуационном центре Минтранса, оборудованного хранилищем больших данных *Hadoop* с выделением на его основе «витрины данных» посредством *OLAP*-кубов и средств выборки данных и их визуализации.

### Применимость систем мониторинга на информационно-телекоммуникационных сетях общего пользования

Системы мониторинга телекоммуникационных сетей стали в настоящее время неотъемлемым инструментом системного администратора. В табл. 1 представлены наиболее распространенные системы сетевого мониторинга на ИТКС ОП.

Таблица 1 – Обзор основных систем сетевого мониторинга

| Название                   | <i>Zabbix</i>                            | <i>Prometheus</i>                  | <i>Nagios</i>            | <i>SCOM</i>                 | <i>Cacti</i>                      |
|----------------------------|--|------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Диаграммы                  | Да                                       | Да                                 | Да                       | Да                          | Да                                |
| Автоматическое обнаружение | Да                                       | Частично                           | Через плагин             | Да                          | Через плагин                      |
| Без агента                 | Да                                       | Да                                 | Да                       | Да                          | Нет                               |
| SNMP                       | Да                                       | Да                                 | Да                       | Да                          |                                   |
| WMI                        | Да                                       | Да                                 | Неизвестно               | Да                          | Нет                               |
| Внешние скрипты            | Да                                       | Да                                 | Да                       | Да                          | Да                                |
| Плагины                    | Да                                       | Да                                 | Да                       | Да                          | Да                                |
| Триггеры                   | Да                                       | Да                                 | Да                       | Да                          | Да                                |
| Доступ через Web           | Полный доступ                            | Просмотр                           | Полный доступ            | Полный доступ               | Полный доступ                     |
| Распределенный мониторинг  | Да                                       | Да                                 | Да                       | Да                          | Нет                               |
| Инвентаризация             | Да                                       | Да                                 | Да                       | Да                          | Да                                |
| Метод хранения данных      | <i>Oracle, MySQL, PostgreSQL, SQLite</i> | <i>Time Series Database (TSDB)</i> | Плоская база данных, SQL | <i>Microsoft SQL Server</i> | <i>RRDtool, MySQL, PostgreSQL</i> |
| Лицензия                   | <i>GNU GPL</i>                           | <i>GNU GPL</i>                     | Коммерческая, бесплатная | Коммерческая                | <i>GNU GPL</i>                    |
| Стоимость                  | Бесплатно                                | Бесплатно                          | От \$1995                | От \$3607                   | Бесплатно                         |
| Карты                      | Да                                       | Да                                 | Да                       | Да                          | Да                                |
| Платформа                  | <i>UNIX</i>                              | <i>UNIX</i>                        | <i>UNIX</i>              | <i>Windows</i>              | <i>Windows, UNIX</i>              |
| Контроль доступа           | Да                                       | Внешними средствами                | Да                       | Да                          | Да                                |



Применимость основных систем мониторинга в мировом сообществе на сегодняшний день приведена на рис. 1. К таким системам мониторинга можно отнести такие как *Zabbix*, *Nagios*, *Cacti*, *Prometheus* и другие.



Рис. 1. Применимость основных систем мониторинга в мировом сообществе

Этапы их выхода на рынок информационно-телекоммуникационных услуг приведены на рис. 2. Так, на конец 2022 года в России наибольшее предпочтение отдается таким системам мониторинга как *Zabbix* и *Prometheus*.

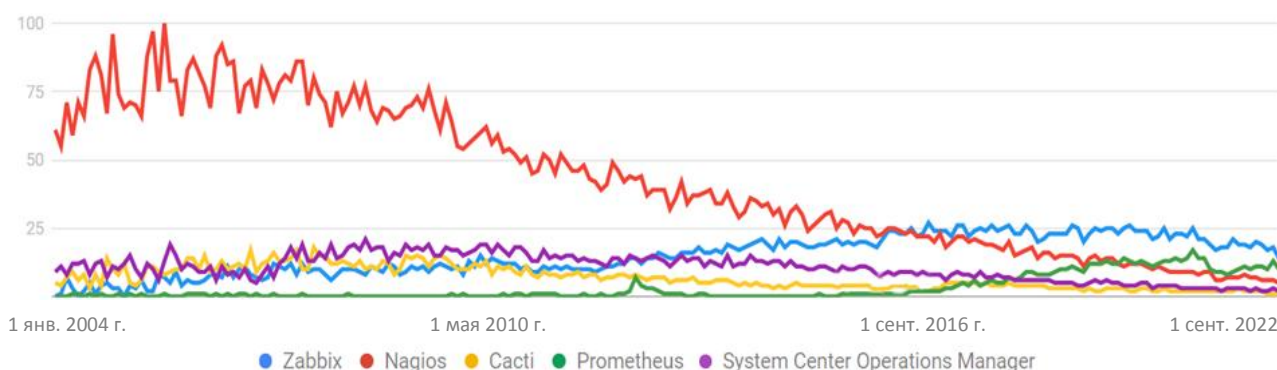


Рис. 2. Этапы выхода основных систем мониторинга на рынок информационно-телекоммуникационных услуг в мировом сообществе

Использование в ведомственных (корпоративных) ИТКС ОП централизованного сервера сбора данных о состоянии телекоммуникационной инфраструктуры позволяет наиболее эффективно решать задачи оперативного контроля выхода из строя или восстановления работоспособности отдельных сетевых компонентов. Так на рис. 3 приведен вариант карты сетей в *Zabbix* с выделением красным транспарантом элементов ИТКС, имеющих отклонение функциональных параметров за пределы эксплуатационных допусков (левая верхняя часть интерфейса сервера мониторинга) [3].

Как показано на рис. 4, структурно сервер мониторинга состоит из:

- сборщика «сырых» данных, осуществляющий сбор метрик через приемный шлюз;
- базы данных временных рядов, пополняемой от сборщика «сырых» данных;
- *HTTP* сервера, взаимодействующего с объектами мониторинга, а также подсистемой оповещения и подсистемой отображения других сегментов ситуационного центра [4].

Сборщик «сырых» данных по протоколу *HTTP* осуществляет опрос подконтрольных объектов мониторинга и размещает получаемые метрики в базе временных рядов. Таким образом, накопленные данные (ИИ) о состоянии одного и того же объекта мониторинга и его изменение во времени можно наблюдать, своевременно сигнализируя об отказах (авариях, блокировках) или приближении технического состояния наблюдаемого объекта к предотказному (предаварийному) состоянию, рис. 3.



Рис. 3. Вариант карты сетей в *Zabbix*

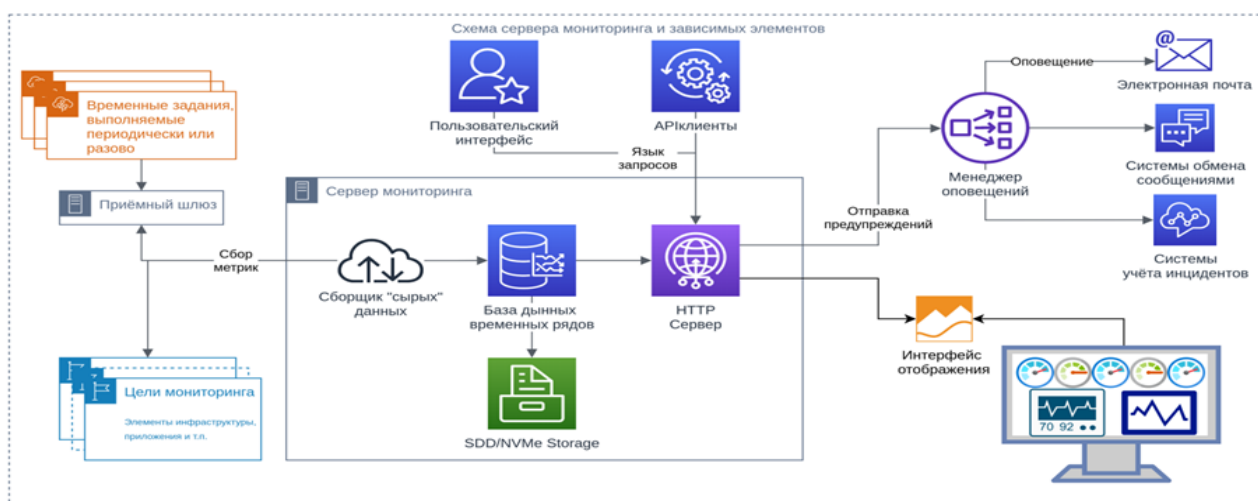


Рис. 4. Структурная схема сервера мониторинга ИТКС и зависимых элементов

### Использование больших данных в задачах мониторинга

К видам собираемых системой мониторинга данных, прежде всего, относят первичные данные, рис. 5:

- события, *events* (трапы, системные события, предобработанные первичные данные);
- отказы, *faults* (предобработанные события);
- топология, *structure* (структура сетевых элементов, соединений, подсетей);
- первичные измерения объектов мониторинга, *RAW DATA* (сетевых элементов, соединений, сегментов);

После предобработки, как правило, путем сравнения с пороговым критическим значением, формируются события (норма, авария, предупреждение).

В последствии механизмы мониторинга производят фильтрацию событий для исключения дублей и выявления наиболее важных из них (выход параметра за пределы допуска, предаварийное состояние и пр.). Происходит формирование множества отказов.

Несколько в стороне от описанной схемы лежит сбор топологических данных о структуре телекоммуникационной сети. Он, как правило, носит вспомогательный характер для формирования отображаемой карты сети и корреляции событий при вычислении отказов.



Рис. 5. Формирование данных сервером мониторинга

Однако собираемые данные мониторинга могут использоваться не только для анализа текущего состояния отдельных сетевых элементов. На ретроспективных данных о состоянии сети связи можно осуществить, например, анализ и прогноз использования сетевых ресурсов, сформировать модель распространения отказов (анализ надежности), поиск модели нарушителя (анализ безопасности), планирование и оптимизацию сетей и её ресурсов при развитии сети, рис. 6.

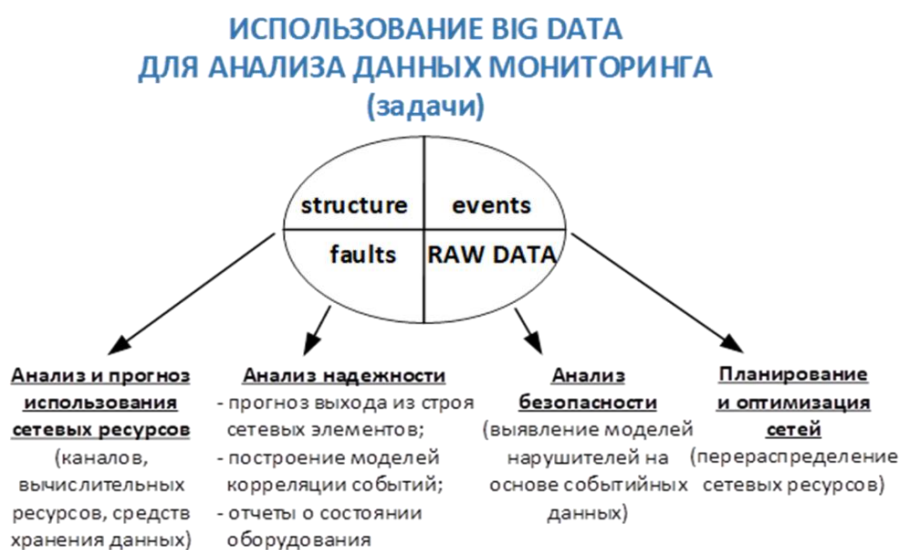


Рис. 6. Использование больших данных в задачах мониторинга

### Сбор данных мониторинга посредством технологии *Hadoop*

Распространение технологии обработки больших данных позволяет решать подобные задачи в поточном режиме. Для объединения четырех потоков данных мониторинга (первичные данные, отказы, события, данные о топологии) можно использовать технологию *mapreduce*, которая является центральным компонентом технологии *Hadoop*. Интегральной сущностью (таблицей фактов) при этом выступает событие мониторинга, которое помимо типа события и времени фиксации содержит данные об объекте мониторинга (топологические данные структуры сети), субъект мониторинга (конфигурация агента измерения), а также (возможно) сами данные. Процедура производства данных сервером мониторинга и их взаимосвязь показана на рис. 7.

#### ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА УЗЛА МОНИТОРИНГА (на примере *HPOpenView, OpenNMS, Huawei V2000*)

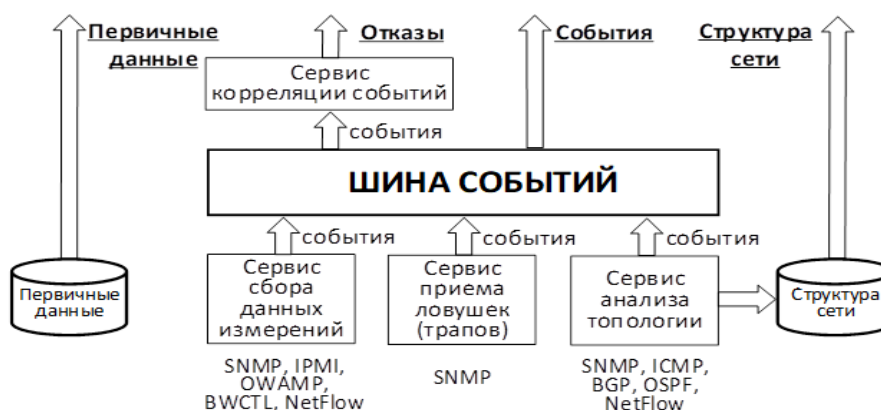


Рис. 7. Производство данных сервером мониторинга и их взаимосвязь

Событие является центральной сущностью при анализе данных мониторинга, рис. 8. При этом так называемые «витрины данных» о состоянии объекта мониторинга формируются в виде «таблицы событий» с указанием: типа события, времени, идентификатора объекта мониторинга, его *IP*-адреса, данных мониторинга (или измерительной информации) и выявленных отказов (или нарушений). В терминологии *OLAP* – кубов «таблица событий» это та же «таблица фактов».

На сегодняшний день технология *Hadoop* представляет из себя основополагающую технологию хранения и аналитики больших объемов данных (*Big Data*), фактически реализуемую на распределенной базе данных (со своей инфраструктурой сбора данных), в которую «сбрасывают» данные различные поставщики. Она имеет стандартизированные интерфейсы представления данных, основанные на *SPARK*-анализе и визуализации, рис. 9. Здесь данные хранятся по технологии «ключ-значение» [5-7]. При этом «ключ» характеризуется конкретным устройством (элементом) распределенной информационно-телекоммуникационной сети и параметрами, описывающими его функционирование, а «значение» – временными рядами измерительной информации со значениями параметров, снимаемыми с этого устройства (элемента сети) во времени.

Особенность технологии *Hadoop* состоит в том, что данные (измерительная информация) можно собирать со всей распределенной сетевой инфраструктуры и систематизироваться в виде так называемых «витрин данных» [8], например, с помощью *OLAP*-кубов (*On-Line Analytical Processing* – интерактивный анализ данных), формируемых от нескольких распределенных серверов мониторинга, работающих под системами сетевого мониторинга (*Prometheus, Zabbix* и пр.), рис. 10. Т. е. для аналитики больших объемов данных требуется не отдельный сервер мониторинга, а их совокупность, в которой данные реплицируются во времени.

### СОБЫТИЕ МОНИТОРИНГА (субъект-объектный подход)

Событие является центральной сущностью при анализе данных мониторинга (в терминологии OLAP «таблица фактов»)

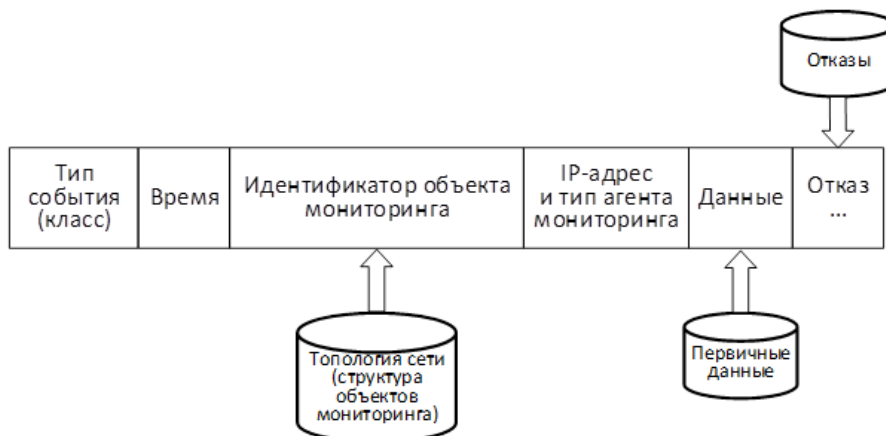


Рис. 8. Формирование витрины данных в виде таблицы событий как таблицы фактов

### ИНФРАСТРУКТУРА HADOOP (для сбора данных мониторинга)

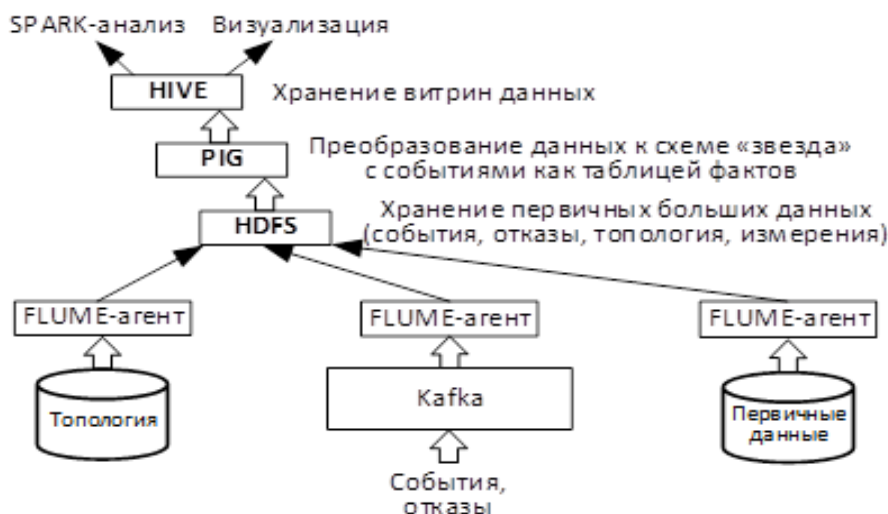


Рис. 9. Реализация витрин данных средствами Hadoop

При этом *Hadoop* предоставляет *Spark*-платформу [5] разработки приложений аналитики данных. Например, на *Spark* можно разработать сценарий для сбора данных от элементов распределенной информационно-телекоммуникационной сети (на рис. 11 представлен вариант структуры *web*-интерфейса сервера мониторинга распределенной ИТКС участка Волго-Балтийского внутреннего водного пути России). Для графо-аналитических расчетов (аналитика на основе граф-метрик) необходимы наборы данных (*Dataset*), которые включают трафик, значения параметров (измерительную информацию) о состоянии элементов, собранные с распределенной сетевой инфраструктурой, а не только данные, проходящие через маршрутизатор доступа (граничный маршрутизатор).

*Hadoop* позволяет сформировать такой набор. *Apar Spark* (входящий в *Hadoop*) осуществляет расчет граф-метрик [9] для реализации аналитики поведения (состояния) распределенной сети.

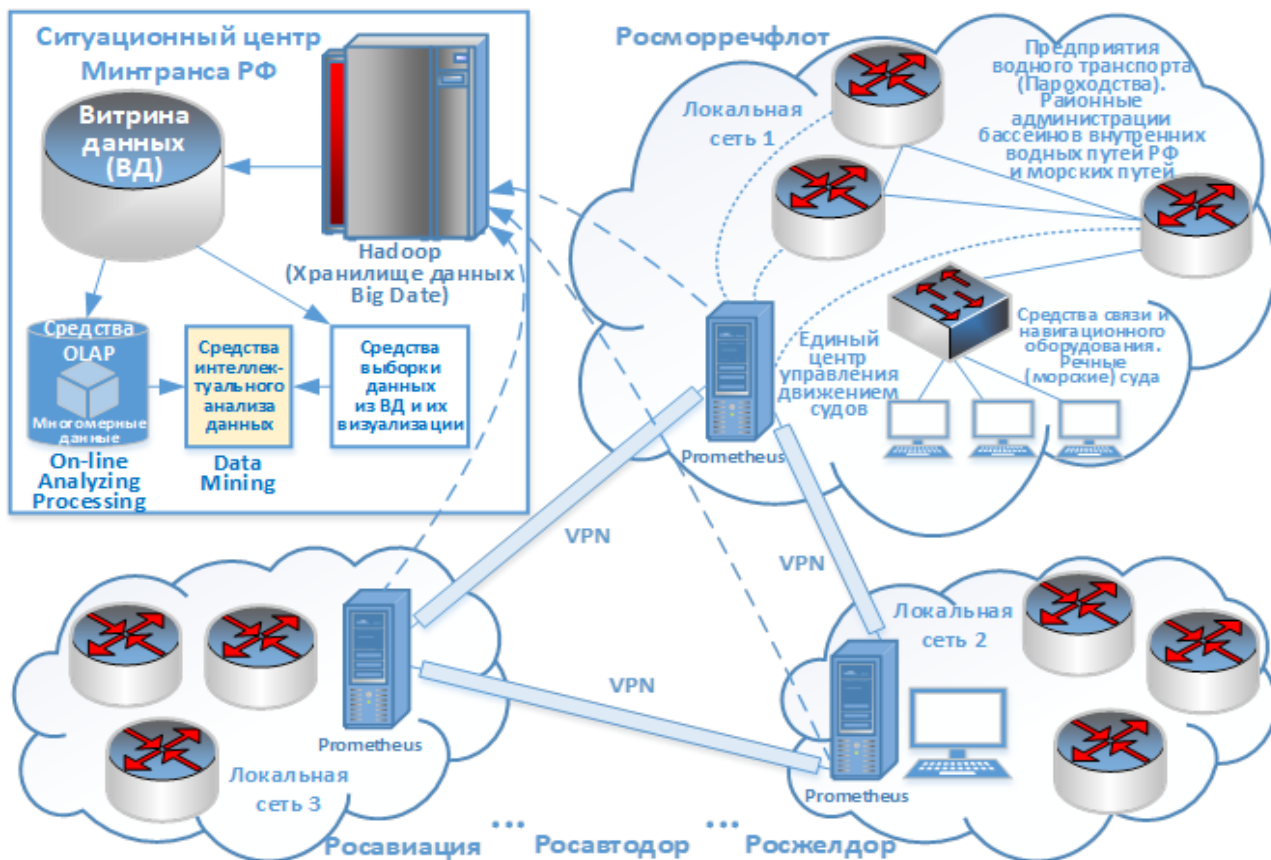


Рис. 10. Вариант применения витрин данных (на примере распределенной ИТКС Минтранса России и ее федеральных агентств)

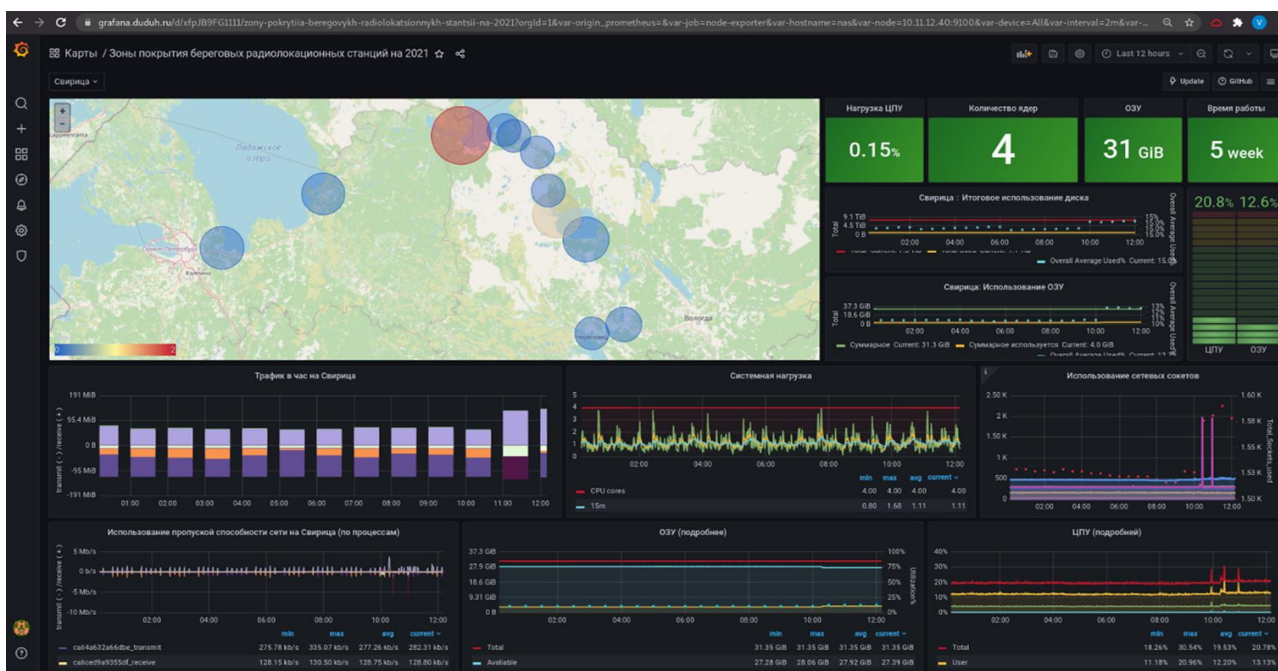


Рис. 11. Вариант структуры web-интерфейса сервера мониторинга ИТКС (на участке Волго-Балтийского внутреннего водного пути РФ)

### Выводы

1. Современные технологии больших данных (*Big Data*) наряду с широкими каналами создают предпосылки для формирования базы «интеллектуального» мониторинга, широко использующего подходы машинного обучения не только для анализа долговременных трендов, но и для оперативной аналитики состояния устройств и распределенных телекоммуникационных сетей.

2. При трансляции всех первичных данных (измерительной информации) о значениях параметров элементов сети в центр обработки такую задачу возможно реализовать. Если представить одну подсеть (ИТКС) сверткой с числом «событий» в 5-6 функциональных состояний («неопределенное» (*Undefined*), «норма» (*Normal*), «незначительное нарушение» (*Minor*), «значительное нарушение» (*Major*), «критическое» (*Critical*), «авария» (*Fault*) [10]), другую подсеть – аналогично, то на верхнем уровне подсистема мониторинга ИТКС может лишь констатировать работоспособность или блокировку сети в целом, без детализации конкретных метрик ее параметров.

3. В настоящее время *Hadoop* – это де-факто базовая технология хранения и обработки (аналитики) больших объемов данных (*Big Data*), реализуемая на распределенной файловой системе *HDMS*. В указанной структуре функционирует хранилище «ключ-значение» *HBase*, осуществляющее сбор первичных данных нескольких узлов мониторинга, формируя т. н. витрину первичных данных аналитики. Причем «ключ» характеризует конкретное устройство распределенной сети параметрами, описывающими функционирование, а «значение» – временными рядами измерительной информации со значениями параметров, снимаемыми с этого устройства во времени.

4. Особенность баз данных *HBase* состоит в её оптимизации под операции чтения и записи, наиболее отвечающих потребностям мониторинга. Данные (измерительная информация) собирается средствами *Hadoop Flume* со всей распределенной сети и агрегируется в виде т. н. «витрин данных», частным случаем которых являются классические *OLAP*-кубы.

5. Рассмотренный вариант реализации сценария формирования витрин данных на основе *Hadoop* позволяет в последующем сформировать порядок функционирования всей подсистемы мониторинга для идентификации аномалий в работе ИТКС, что является направлением дальнейшего исследования. При этом на подсистеме сетевого мониторинга нового поколения планируется активнее использовать многомерную обработку данных (ИИ), снимаемых с сетевых устройств, каналов, интерфейсов, подсетей и т. д.

### Литература

1. Зацаринный А. А., Шабанов П. А. Технология информационной поддержки деятельности организационных систем на основе ситуационных центров. – М. : ТОРУС ПРЕСС, 2015. – 232 с.
2. Указ Президента Российской Федерации от 25 июля 2013 года N 648 «О формировании системы распределенных ситуационных центров, работающих по единому регламенту взаимодействия». [Электронный ресурс] Текстовые дан. – URL: <http://www.consultant.ru> свободный доступ. (Дата обращения 10.03.2023).
3. Аллакин В. В., Будко Н. П., Васильев Н. В. Общий подход к построению перспективных систем мониторинга распределенных информационно-телекоммуникационных сетей // Системы управления, связи и безопасности. 2021. №4. С. 125-227. DOI: 10.24412/2410-9916-2021-4-125-227.
4. Аллакин В. В. Формирование сервера мониторинга функциональной безопасности информационно-телекоммуникационной сети общего пользования на основе оценки SRE-метрик // Техника средств связи. 2021. № 1 (153). С. 77-85.
5. D'Alconzo A., Drago I., Morichetta A., Mellia M., Casas P. A Survey on Big Data for Network Traffic Monitoring and Analysis. [Электронный ресурс] arXiv:2003.01648v1 [cs.DC] 3 Mar 2020. Текстовые дан. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/339674996> свободный доступ. (Дата обращения 22.01.2023).

6. Емельянов А. Мониторинг сервисов с Prometheus. [Электронный ресурс] Текстовые дан. – URL: <https://habr.com/ru/company/selectel/blog/275803> свободный доступ. (Дата обращения 22.01.2023).
7. Мокшина О. Как базы данных «ключ-значение» обеспечивают производительность и масштабируемость без границ. [Электронный ресурс] Текстовые дан. – URL: <https://habr.com/ru/company/vk/blog/685402> свободный доступ. (Дата обращения 22.01.2023).
8. Воронков К. Л., Шерстюк Ю. М., Романенко А. И. Методика синтеза структуры витрины данных медико-генетического мониторинга // Информационно-управляющие системы. 2006. № 1. С. 14-20.
9. Bunke P., Dickinson P. J., Kraetzl M., Wallis W. D. Graph-Theoretic Approach to Enterprise Network Dynamics. Basel. Birkhauser. 2007. 226 p.
10. Recommendation ITU-T M.3703 Common management services. Alarm management. Protocol neutral requirements and analysis – URL: <http://www.itu.int/rec/T-REC-M.3703-201006-1> (дата обращения 03.07.2021).

### References

1. Zatsarinny, A.A. Technology of information support for the activities of organizational systems based on situational centers. / A.A. Zatsarinny, P.A. Shabanov. – М. : TORUS PRESS, 2015. – 232 p. (in Russian).
2. Decree of the President of the Russian Federation No. 648 dated July 25, 2013 "On the formation of a system of distributed situational centers operating under a single interaction regulation". [Electronic resource] Text data. – Access mode: <http://www.consultant.ru> free. (Accessed 10.03.2023). (in Russian).
3. Allakin V. V., Budko N. P., Vasiliev N. V. A general approach to the construction of advanced monitoring systems for distributed information and telecommunications networks. Systems of Control, Communication and Security, 2021, no. 4, pp. 125-227. DOI: 10.24412/2410-9916-2021-4-125-227 (in Russian).
4. Allakin V.V. Formation of a server for monitoring the functional security of a public information and telecommunications network based on the evaluation of SRE metrics. Means of Communication Equipment. 2021. No. 1 (153). Pp. 77-85 (in Russian).
5. D'Alconzo A., Drago I., Morichetta A., Mellia M., Casas P. A Survey on Big Data for Network Traffic Monitoring and Analysis. [Electronic resource] arXiv:2003.01648v1 [cs.DC] 3 Mar 2020. Text data. – Access mode: <https://www.researchgate.net/publication/339674996> свободный. (Accessed 22.01.2023).
6. Emelyanov A. Monitoring of services with Prometheus. [Electronic resource]. Text data. – Access mode: <https://habr.com/ru/company/selectel/blog/275803> free. (Accessed 22.01.2023). (in Russian).
7. Mokshina O. How key-value databases provide performance and scalability without borders. [Electronic resource]. Text data. Available at: <https://habr.com/ru/company/vk/blog/685402> free. (Accessed 22.01.2023). (in Russian).
8. Voronkov K. L., Sherstyuk Yu. M., Romanenko A. I. Method of synthesis of the structure of the medical-genetic monitoring data showcase // Information and control systems. 2006. No. 1. pp. 14-20. (in Russian).
9. Bunke P., Dickinson P. J., Kraetzl M., Wallis W. D. Graph-Theoretic Approach to Enterprise Network Dynamics. Basel. Birkhauser. 2007. 226 p.
10. Recommendation ITU-T M. 3703 Common management services. Alarm management. Protocol neutral requirements and analysis. Text data. Access mode: <http://www.itu.int/rec/T-REC-M.3703-201006-1> (Accessed 30 July 2021).

Статья поступила 15 марта 2023 года

### Информация об авторах

*Будко Никита Павлович* – кандидат технических наук. Независимый специалист. E-mail: budko62@mail.ru. Адрес: 194064, г. Санкт-Петербург, ул. Бутлерова, д. 9, корп. 1, кв. 252.

*Васильев Николай Владимирович* – кандидат технических наук, доцент. Начальник сектора ПАО «Интелтех». E-mail: gandvik1984@gmail.com. Тел.: +7(911)120-26-22. Адрес: Россия, 197342, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, дом 8.

*Груздев Алексей Андреевич* – студент Московского государственного технического университета радиотехники, электроники и автоматики (Российский технологический университет). E-mail: gruzdev.a.a26@mail.ru. Тел.: +7(999)360-16-72. Адрес: Россия, 355002, г. Ставрополь, ул. Мичурина, д. 2, лит. В.



## Collection and processing of big data in monitoring systems of information and telecommunication networks by means of Hadoop technology

N. P. Budko, N. V. Vasiliev, A. A. Gruzdev

**Annotation.** *The article aims to consider the issues of presentation and processing of measurement information about the technical condition of devices of distributed information and telecommunication systems and networks based on big data analytics using Hadoop technology. The aim of the work is to systematize the results of processing measuring information about the state of elements of information and telecommunication networks in the form of so-called "data showcases" in the interests of situational management of the system. Methods used: the work uses methods based on On-line Analyzing Processing technologies – interactive data analysis, using OLAP-cubes and data sampling and visualization tools at the situation center of the department (corporation). The novelty of the solution under discussion consists in the use of "data showcases" on the technical condition of distributed network infrastructure devices generated from several monitoring servers operating under network monitoring systems. The results of the work should include: the presented structure of the monitoring node that produces data by the monitoring server and their relationship; the order of formation of the "data showcase" in the form of an "event table" as a "fact table" (in the terminology of OLAP cubes, the "event table" is the same "fact table" about the state of the monitoring object). The practical significance of the work lies in the proposed implementation on the situation center of the department of "data storefronts" by Hadoop using the example of a distributed information and telecommunications network of the Ministry of Transport of Russia and its Federal Agencies.*

**Keywords:** *Big Data, On-line Analyzing Processing, measurement information, information and telecommunication network, Hadoop, monitoring server, monitoring system, technical condition.*

### Information about Authors

*Budko Nikita Pavlovich* – Candidate of Technical Sciences. An independent specialist. E-mail: budko62@mail.ru.

Address: 194064, St. Petersburg, Butlerova str., 9, bldg. 1, sq. 252.

*Vasiliev Nikolay Vladimirovich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Head of the Sector of at PJSC «Inteltech». E-mail: gandvik1984@gmail.com. Tel.: +7(911)120-26-22.

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

*Alexey Andreevich Gruzdev* – Is a student of the Moscow State Technical University of Radio Engineering, Electronics and Automation (Russian Technological University). E-mail: gruzdev.a.a26@mail.ru . Tel.: +7(999)360-16-72.

Address: Russia, 355002, Stavropol, Michurina str., house 2, lit. B.

**Для цитирования:** Будко Н. П., Васильев Н. В., Груздев А. А. Сбор и обработка больших данных в системах мониторинга информационно-телекоммуникационных сетей средствами технологии Hadoop // Техника средств связи. 2023. № 1 (161). С. 78-88. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-78-88.

**For citation:** Budko N. P., Vasiliev N. V., Gruzdev A. A. Collection and processing of big data in monitoring systems of information and telecommunication networks by means of Hadoop technology. Means of Communication Equipment. 2023. No. 1 (161). Pp. 78-88 (in Russian). DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-78-88.

**АНАЛИЗ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ СРЕДСТВ СВЯЗИ**

УДК 621.391

DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-89-94

**Программно-конфигурируемые сети  
как новый этап развития сетей передачи данных**

Никитин С. В., Лоборчук А. А.

**Аннотация.** Развитие сетей передачи данных не стоит на месте и сопровождается неизбежной сменой протоколов и технологий, стремящихся повысить качество передачи данных, быстродействие и надежность сетей, а также упростить и автоматизировать их управляемость. Традиционная сетевая архитектура, построенная на автономных устройствах передачи данных, требует огромных ресурсов для передачи экспоненциально растущих объемов информации, а существующие сетевые протоколы имеют ограниченные возможности по управлению трафиком и оптимизации полосы пропускания. Для повышения качества передачи мультимедийной информации требуется внедрение более эффективных методов и принципов маршрутизации. Программно-конфигурируемые сети – это новая парадигма построения и эксплуатации сетей передачи данных, позволяющая обеспечить должную безопасность и гибкость в управлении потоками. Архитектура программно-конфигурируемых сетей отделяет сетевые функции контроля и передачи данных, что позволяет сделать контроль над сетью напрямую программируемым. При таком подходе управляющие функции перенесены на отдельное устройство – контроллер, а сеть программируется посредством реализованных на нем приложений, которые позволяют в реальном времени гибко и быстро вносить изменения в конфигурацию сети в соответствии с динамически изменяющимися потребностями конечного пользователя и администратора сети, тем самым существенно снизив нагрузку на сетевые коммутаторы и маршрутизаторы. В данной статье рассматриваются основные понятия и архитектура программно-конфигурируемых сетей, ключевые отличия, преимущества и недостатки в сравнении с распределенной моделью построения сетей. Затрагивается вопрос сетевой безопасности, а также возможность миграции существующих традиционных систем к программно-конфигурируемым.

**Ключевые слова:** Программно-конфигурируемые сети, контроллер программно-конфигурируемых сетей, интерфейс OpenFlow, сети передачи данных.

Современные тенденции развития мировой политики и международных отношений, а также заметно возросшее на этом фоне количество кибератак, выдвигают повышенные требования к безопасности, контролю и организации сетей передачи данных крупных государственных компаний и различных ведомственных учреждений. Текущее состояние сетей передачи данных характеризуется необходимостью перехода к новым архитектурам и технологиям с возможностью сохранения совместимости с существующим парком оборудования.

Традиционные сети, основанные на иерархической топологии – это сети из распределенных автономных сетевых элементов, которые самостоятельно должны вычислять маршруты при изменении топологии сети и принимать решения по дальнейшей доставке трафика. Такие системы имеют крайне низкую автоматизацию при внедрении или изменении сетевых сервисов. С ростом объемов сетевого трафика и количества подключенных к сети устройств, конфигурирование сетевого оборудования крупномасштабных сетей превращается в очень сложную задачу. Интеграция сетевых устройств, реализующих передачу различных видов данных, ведет к усложнению функций управления потоками данных и не всегда позволяет обеспечить требуемое качество сетевых сервисов. Большое

количество протоколов и технологий, требующих настройки, урезанный функционал существующих систем управления и привязка таких систем к конкретному производителю влечет за собой постоянное наличие в штате квалифицированных кадров, решающих данные задачи.

Основной целью внедрения программно-конфигурируемых сетей является возможность централизованного управления сетевым трафиком, упрощение основных сетевых компонентов таких, как коммутаторы и маршрутизаторы, а также увеличение пропускной способности сети передачи данных[1].

В традиционных сетях плоскость управления и данных реализована в рамках одного устройства (маршрутизатор, коммутатор), такая архитектура относительно сложная и статическая. Архитектуру программно-конфигурируемых сетей (ПКС) условно можно разделить на три уровня (рис. 1) [2]:

– инфраструктурный уровень – набор сетевых устройств (коммутаторы, маршрутизаторы и т. д.) и каналов передачи данных. Обеспечивает перенаправление пакетов и обработку данных. Логика работы сетевых устройств определяется сетевым контроллером;

– уровень управления – обеспечивает приложения информацией о сети, в том числе информацией о событиях и различные статистические данные. Преобразует требования уровня приложений в команды для *OpenFlow* устройств выполняющих пересылку данных;

– уровень приложений – сообщает сетевому контроллеру свои требования к сети (мониторинг состояния сети, поддержание определенного уровня *QoS*, конфигурирование сетевых параметров, обеспечение сетевой безопасности).

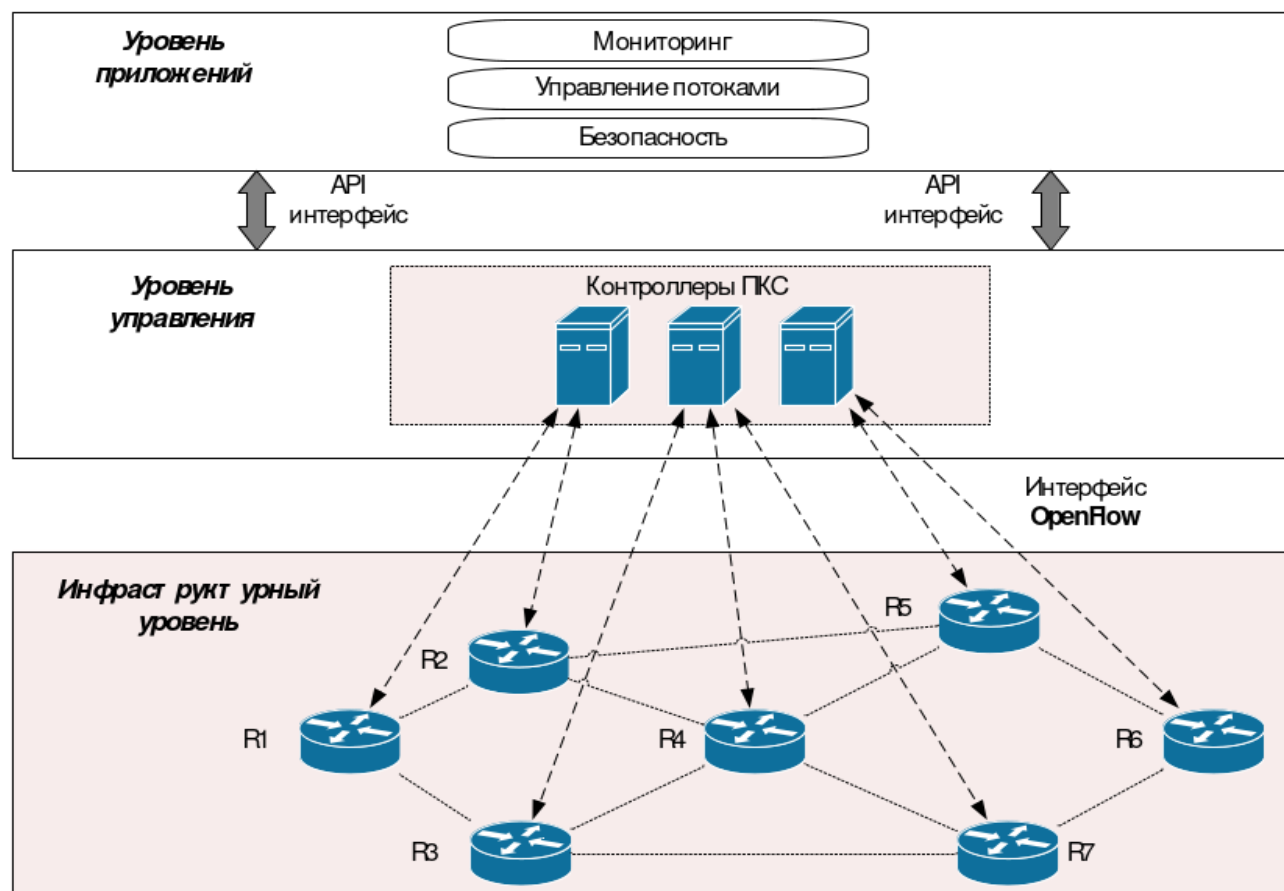


Рис.1. Архитектура ПКС

Управление сетевыми устройствами в ПКС осуществляется с центрального устройства – сетевой контроллер с установленной на него сетевой операционной системой и реализованными поверх сетевыми приложениями. Взаимодействие управляющего контроллера с сетевым оборудованием осуществляется посредством протокола *OpenFlow*. Протокол *OpenFlow* использует единый набор функций и предоставляет открытый протокол для программирования таблиц потоков на различных коммутаторах и маршрутизаторах.

Сетевой контроллер обладает полным знанием топологии сети и на основании политик, заданных сетевыми приложениями, формирует таблицы потоков для каждого сетевого устройства. В такой реализации коммутаторы и маршрутизаторы являются лишь средствами для пересылки потока в соответствии с правилами, присланными контроллером, и не могут принимать автономные решения.

Одной из основных проблем при построении сетей передачи данных является обеспечение надежного обмена информацией между узлами сети при высоких требованиях к задержкам передачи данных в условиях локальных перегрузок, возможных всплесков трафика или отказов отдельных элементов сети. ПКС позволяет успешно реализовать и интегрировать не только различные алгоритмы адаптивной маршрутизации с использованием композитных метрик линий связи, обеспечивающих автоматическое обновление таблиц маршрутизации после изменения конфигурации сети, но и протоколы многопоточной маршрутизации с целью увеличения отказоустойчивости сети и повышения качества сетевых сервисов (*QoS*) [3, 4]. Многопоточная маршрутизация позволит сбалансировать нагрузку на сеть путем распределения сетевого трафика по резервным маршрутам.

Контроль над сетью в ПКС является напрямую программируемым, поскольку он отделен от функций передачи. Такой подход поможет интегрировать в контроллер ПКС инструменты безопасности, позволяющие настраивать каждый *OpenFlow* [5] коммутатор на получение первого пакета нового потока данных и отправки его на анализ механизмам безопасности, с целью принятия решения о доставке, перемещения в область карантина или блокировке всего потока, реализовав функциональность межсетевых экранов и средств обнаружения вторжения, тем самым устранив необходимость в их дополнительной установке. Алгоритм обработки входного потока данных представлен на рис. 2. Контроллер ПКС позволяет администраторам динамично регулировать поток сетевого трафика в соответствии с постоянно меняющимися потребностями для максимально эффективного использования пропускной способности оборудования, а также другие параметры сети под растущие потребности пользователей без изменения физической топологии.

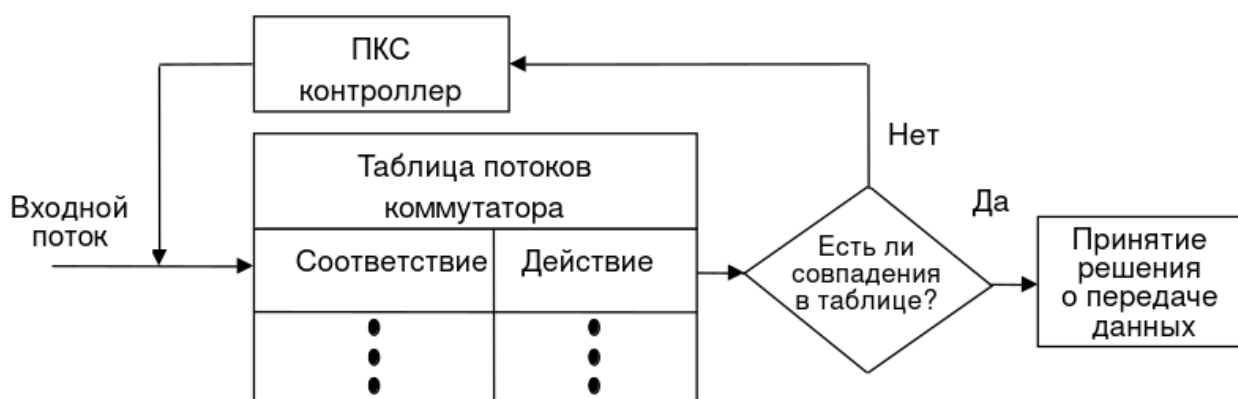


Рис. 2. Алгоритм обработки входного потока данных

Несмотря на все очевидные преимущества данной архитектуры построения сетей, контроллер ПКС все еще является уязвимым местом и единой точкой отказа. Один из вариантов повышения надежности программно-конфигурируемых сетей, заключается в построении территориально-распределенной группы управляющих контроллеров. В такой реализации каждый из контроллеров отвечает за управление только своим участком сети, при этом все контроллеры группы обмениваются информацией между собой и имеют полное представление о текущем состоянии всей сети. Дополнительной мерой в повышении надежности программно-конфигурируемых сетей может служить резервирование контроллеров и сетевых соединений с ними. Один из контроллеров является основным и обеспечивает управление сетью, в то время как резервный контроллер поддерживает соединение с ним и отслеживает состояние всех сетевых устройств. В случае отказа основного контроллера управление сетью на себя перехватывает один из резервных [6].

Использование гибридных коммутаторов [5], поддерживающих как традиционный уровень управления, так и операции *OpenFlow*, позволит реализовать функциональность ПКС в существующих сетях передачи данных без полной замены сетевой инфраструктуры. Такие решения позволят сконфигурировать управляющий контроллер для обнаружения и контроля определенных потоков трафика. В настоящий момент на рынке существует не только зарубежные решения, но и отечественное сетевое оборудование с поддержкой протокола *OpenFlow*, обеспечивающее функциональность программно-конфигурируемых сетей.

Архитектура программно-конфигурированных сетей существенно меняет представление о построении сетей передачи данных и в ряде моментов требует более детальных исследований, но уже сейчас становится очевидным, что переход к программно-конфигурируемым сетям является необходимым и логичным этапом развития традиционных сетей, способным упростить управление сетью, повысить пропускную способность каналов и перераспределить нагрузку, реализовать возможность автоматизации и программирования сети, обеспечить должный уровень сетевой безопасности.

### Литература

1. Панеш А. Х. Достоинства и недостатки программно-конфигурируемых компьютерных сетей // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2016. №3 (186). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dostoinstva-i-nedostatki-programmno-konfiguriruemyh-kompyuternyh-setey> (дата обращения: 28.09.2022).
2. Панеш А. Х. Содержание и перспективы технологий программно-конфигурируемых сетей и виртуализации сетевых функций // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2014. №2 (137). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-i-perspektivy-tehnologiy-programmno-konfiguriruemyh-setey-i-virtualizatsii-setevyh-funktsiy> (дата обращения: 28.09.2022).
3. Лихачев В. А. Программно-конфигурируемые сети на основе протокола OpenFLOW // Приволжский научный вестник. 2014. № 3-1 (31). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/programmno-konfiguriruemye-seti-na-osnove-protokola-openflow> (дата обращения: 28.09.2022).
4. Перепелкин Д. А. Концептуальный подход динамического формирования трафика программно-конфигурируемых телекоммуникационных сетей с балансировкой нагрузки // Информационные технологии. 2015. Т. 21. № 8. С. 602-610.
5. Лапонина О. Р., Сухомлин В. А. Способы трансформации сетей к SDN-архитектуре // International Journal of Open Information Technologies. 2015. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-transformatsii-setey-k-sdn-arhitekture> (дата обращения: 28.09.2022).
6. Кадилов А. В., Оценка надежности программно-конфигурируемых сетей с использованием виртуального моделирования // Universum: технические науки. 2022. № 1 (94) С. 73-77.

### References

1. Panesh A. H. *Dostoinstva i nedostatki programmno-konfiguriruemih komp'yuternih setej* [Advantages and disadvantages of software-configurable computer networks]. *Vestnik Adygejskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Adygea State University]. Ser. 4: Natural-mathematical and technical sciences. 2016. No. 3 (186). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dostoinstva-i-nedostatki-programmno-konfiguriruemih-kompyuternih-setey> (accessed: 09.28.2022). (in Russian).
2. Panesh A. H. *Soderzhanie i perspektivy tekhnologij programmno-konfiguriruemih setej i virtualizacii setevyh funkcij* [The content and prospects of technologies of software-configurable networks and virtualization of network functions]. *Vestnik Adygejskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Adygea State University]. Ser. 4: Natural-mathematical and technical sciences. 2014. No. 2 (137). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-i-perspektivy-tehnologiy-programmno-konfiguriruemih-setey-i-virtualizatsii-setevyh-funktsiy> (accessed: 09.28.2022). (in Russian).
3. Likhachev V. A. *Programmno-konfiguriruemye seti na osnove protokola OpenFLOW* [Software-configurable networks based on the OpenFlow protocol]. *Privolzhskij nauchnyj vestnik* [Volga Scientific Bulletin]. 2014. No. 3-1 (31). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/programmno-konfiguriruemye-seti-na-osnove-protokola-openflow> (accessed: 09.28.2022). (in Russian).
4. Perepelkin D. A. *Konceptual'nyj podhod dinamicheskogo formirovaniya trafika programmno-konfiguriruemih telekommunikacionnyh setej s balansirovkoj nagruzki*. [Conceptual approach of dynamic traffic generation of software-configurable telecommunication networks with load balancing]. *Informacionnye tehnologii*. 2015, vol. 21, no. 8, pp. 602-610. (in Russian).
5. Laponina O. R., Sukhomlin V. A. *Sposoby transformacii setej k SDN-arhitekture* [Methods of network transformation to SDN architecture]. *International Journal of Open Information Technologies*. 2015. No.4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-transformatsii-setey-k-sdn-arhitekture> (accessed: 09.28.2022). (in Russian).
6. Kadilov A. *Otsenka nadezhnosti programmno-konfiguriruemih setej s ispol'zovaniem virtual'nogo modelirovaniya* [Evaluation of the reliability of software-configurable networks using virtual modeling]. *Universum: Technical Sciences*. 2022. № 1 (94). Pp. 73-77. (in Russian).

Статья поступила 12 декабря 2022 года

### Сведения об авторах

*Никитин Сергей Валерьевич* – начальник отдела АО «НИИ «Нептун» Тел.: +7 911 112 72 37.  
E-mail: [nikpvl@yandex.ru](mailto:nikpvl@yandex.ru). Адрес: 199178, Россия, г. Санкт-Петербург, 7-я лин. В.О., д. 80.

*Лоборчук Александр Александрович* – Инженер АО «НИИ «Нептун» Тел.: +7 951 676 96 27.  
E-mail: [79516769627@yandex.ru](mailto:79516769627@yandex.ru). Адрес: 199178, Россия, г. Санкт-Петербург, 7-я лин. В.О., д. 80.

### Software-configurable networks as a new stage in the development of data transmission networks

Nikitin S. V., Loborchuk A. A

**Annotation.** *The development of data transmission networks does not stand still and is accompanied by an inevitable change in protocols and technologies, seeking to improve the quality of data transmission, speed and reliability of networks, as well as to simplify and automate their manageability. The traditional network architecture built on autonomous data transmission devices requires huge resources to transmit exponentially growing amounts of information, and existing network protocols have limited traffic control and bandwidth optimization capabilities. To improve the quality of the transmission of multimedia information requires the introduction of more efficient methods and principles of routing. Software-Defined Networks (SDNs) is a new paradigm for building and operating data transmission networks that allows for proper security and flexibility in flow control. The architecture of the SDN separates the network control and communication functions, making network control directly programmable. With this approach, control functions are transferred to a separate device - the controller, and the network is programmed using applications implemented on it, which allow you to flexibly and quickly make changes to the network*

*configuration in real time in accordance with the dynamically changing needs of the end user and network administrator, thereby significantly reducing load on network switches and routers. This article discusses the basic concepts and architecture of software-defined networks, key differences, advantages and disadvantages in comparison with a distributed networking model. The issue of network security is touched upon, as well as the possibility of migrating existing traditional systems to software-defined ones.*

**Keywords** *software-defined networks, controller, OpenFlow, data transmission networks.*

### Information about Authors

*Sergey Valerevich Nikitin* – Head of the Department JSC “Research Institute” Neptun” Tel.: +7 911 112 72 37. E-mail: nikpvl@yandex.ru. Address: 199178, Russia, Saint-Petersburg, 7 line of the Vasilevsky island, 80.

*Aleksandr Aleksandrovich Loborchuk* – Engineer of the JSC “Research Institute” Neptun” Tel.: +7 951 676 96 27. E-mail: 79516769627@yandex.ru. Address: 199178, Russia, Saint-Petersburg, 7 line of the Vasilevsky island, 80.

**Для цитирования:** Никитин С. В., Лоборчук А.А. Программно-конфигурируемые сети как новый этап развития сетей передачи данных // Техника средств связи. 2023. № 1 (161). С. 89-94. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-89-94.

**For citation:** Nikitin S. V., Loborchuk A. A. Software-configurable networks as a new stage in the development of data transmission networks. Means of Communication Equipment. 2023. No. 1 (161). Pp.89-94. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-89-94. (in Russian).

### ВНИМАНИЕ! КОНКУРС!

#### объявляется конкурс молодых ученых и специалистов ПАО «Интелтех» в 2023 году

Конкурс проводится в целях профессиональной адаптации, выявления и максимального использования творческого потенциала молодых специалистов, стимулирования научной деятельности и привлечения их к решению научно-технических задач, повышающих качество текущих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также в соответствии с Положением по организации и проведению конкурса на лучшую научную работу молодых ученых и специалистов ПАО «Интелтех».

К конкурсу на лучшую научную работу молодых ученых и исследователей представляются выполненные на русском языке закрытые и открытые завершённые научно-исследовательские работы молодых ученых и специалистов ПАО «Интелтех» в возрасте до 35 лет, представляющие собой самостоятельно выполненные исследования по актуальным проблемам телекоммуникационных и информационных технологий.

Научные работы могут быть выполнены индивидуально и коллективно (не более 3 соавторов).

К награждению премиями представляются авторы (соавторы), представившие на конкурс научные работы:

- результаты которых могут быть реализованы на предприятиях оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации, включая создание продукции гражданского и двойного назначения;
- результаты которых могут использоваться в научных исследованиях в плановых НИР (ОКР);
- по результатам которых получены патенты или имеются научные публикации (в журналах, сборниках трудов научно-технических конференций), статьи на депонировании, патенты РФ или программные продукты.

Победители конкурса определяются по итогам их выступления на научно-технической конференции молодых ученых и специалистов ПАО «Интелтех».

#### Порядок представления на конкурс и рассмотрения научных работ

**Номинации:** «Телекоммуникационные системы и сети»; «Информационная безопасность»; «Системы управления».

**Этапы:** I этап (заочный тур) – сдача научных работ в конкурсную комиссию с 01.05.2023 по 01.07.2023;

II этап (очный тур) – выступление на молодежной НТК и защита результатов работы, до 20.10.2023;

III этап – подведение итогов, награждение и представление на Всероссийские конкурсы, до 04.11.2023.

Работы, поступающие на конкурс, оценивает конкурсная комиссия. К работе конкурсной комиссии по отбору научных работ (I этап) и оценке их на научно-технической конференции (II этап) привлекаются ведущие специалисты ПАО «Интелтех» в данной области науки, как правило, имеющие ученые степени (звания).

**На конкурс представляются следующие материалы:** научная работа (до 40 страниц машинописного текста); сведения об авторе (о соавторах) научной работы; список научных трудов, заверенных ученым секретарем ПАО «Интелтех», и подписанных конкурсантом и его научным руководителем; копии патентов и научных публикаций и свидетельств программ для ЭВМ; иные документы, подтверждающие авторское право (при наличии).

#### Информационный спонсор конкурса научно-технический журнал «Техника средств связи»

**О ЖУРНАЛЕ «ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ»  
«Means of Communication Equipment»**

Научно-технический журнал «Техника средств связи» (перевод с английского языка «Means of Communication Equipment») – это рецензируемое научное издание, в котором публикуются результаты научных исследований специалистов в области современных инфокоммуникационных технологий и автоматизированных систем управления, средств связи и информационной безопасности.

Журнал является правопреемником издававшихся с 1959 года Министерством промышленности средств связи СССР всесоюзных журналов «Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника проводной связи» и «Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия: Техника проводной связи».

С 1975 года журнал издается под названием «Техника средств связи».

Учредитель и издатель журнала: Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Адрес учредителя и издателя журнала: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Периодичность выхода журнала – 4 номера в год.

Публикация в журнале является научным печатным трудом. Основное содержание издания представляют собой научные статьи и научные обзоры.

Информация предназначена для детей старше 12 лет.

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

Свидетельства о регистрации средств массовой информации, ISSN:

ПИ № ФС 77 – 80135 от 31.12.2020 г.;

ЭЛ № ФС 77 – 80136 от 31.12.2020 г.

ISSN (print): 2782-2141;

ISSN (online): 2782-2133.

РИНЦ (eLIBRARY ID: 77074)

**ВНИМАНИЕ!**

**Уважаемые читатели!**

**Открыта подписка на второе полугодие 2023 г.**

**Подписной индекс журнала «Техника средств связи» – 79656**

**Ссылки для оформления интернет-подписки на журнала:**

**[https://www.akc.ru/itm/means-of-communication-equipment/;](https://www.akc.ru/itm/means-of-communication-equipment/)**

**<https://www.prensa-rf.ru/cat/1/edition/e79656/>**

**Официальный сайт журнала: [www.mce-journal.ru](http://www.mce-journal.ru)**

**E-mail: [mce-journal@inteltech.ru](mailto:mce-journal@inteltech.ru)**

**Будем рады видеть Вас в числе наших авторов и новых читателей!**



**ПЕРЕЧЕНЬ НАУЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ,  
паспорта которых соответствуют тематическому содержанию журнала**  
*В соответствии с номенклатурой, утвержденной приказом министерства науки  
и высшего образования РФ от 24 февраля 2021 г. N 118 и рекомендацией президиума ВАК  
N 15/1-нс от 28 мая 2021 г.*

|   |  |
|---|--|
| <b>Естественные науки:</b>  | <b>1.2. Компьютерные науки и информатика:</b>  |
|   | 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки).  |
| <b>Технические науки:</b>   | <b>2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь:</b>  |
|   | 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения (технические науки);  |
|   | 2.2.14. Антенны, СВЧ устройства и их технологии (технические науки);   |
|   | 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций (технические науки).   |
|   | <b>2.3. Информационные технологии и телекоммуникации:</b>  |
|   | 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки);  |
|   | 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки);                       |
| 2.3.6. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки). |  |
| <b>Военные науки:</b>   | <b>6.2 Военно-технические науки</b>  |
|   | 6.2.1. Вооружение и военная техника. Комплексы и системы военного назначения (технические науки);  |
|   | 6.2.4. Системный анализ, моделирование боевых действий и систем военного назначения, компьютерные технологии в военном деле (технические науки); |
|   | 6.2.5. Эксплуатация и восстановление вооружения, техническое обеспечение (технические науки);  |
|   | 6.2.11. Военная электроника, аппаратура комплексов военного назначения (технические науки);  |
|   | 6.2.13. Военные системы управления, связи и навигации (технические науки).   |

**Индексы ГРНТИ:**

20.00.00 Информатика.  
 28.00.00 Кибернетика.  
 45.00.00 Электротехника.  
 47.00.00 Электроника. Радиотехника.  
 47.05.00 Теоретическая радиотехника.  
 47.41.00 Радиоэлектронные схемы.  
 47.51.39 Синтез и обработка телевизионных сигналов.  
 49.00.00 Связь.  
 49.03.05 Теория обработки сигналов в системах связи.  
 49.27.00 Система передачи.  
 49.31.00 Многоканальная связь.  
 49.39.00 Телефонная связь и аппаратура.  
 49.43.00 Радиосвязь и радиовещание.  
 50.00.00 Автоматика. Вычислительная техника.  
 49.33.35 Надежность сетей связи и защита информации.  
 50.37.23 Защита от несанкционированного доступа. Физическая защита информации.  
 50.41.27 Компьютерные вирусы. Антивирусные программы.  
 81.93.29 Информационная безопасность. Защита информации.  
 59.00.00 Приборостроение



# СВИДЕТЕЛЬСТВО

о регистрации в Национальном центре

## ISSN

и присвоении Международного стандартного номера  
серийного издания  
(International Standard Serial Number)

**Издание: Основное заглавие:** Техника средств связи (Санкт-Петербург. Print)  
**Параллельное заглавие:** Means of communication equipment  
**Ключевое заглавие:** Техника средств связи  
**Номер Свидетельства о регистрации СМИ в Роскомнадзоре:** ПИ № ФС 77-80135 от 31.12.2020  
**Издатель:** Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии»  
**Место издания:** г. Санкт-Петербург  
**URL:** -  
**Язык издания:** русский, резюме: английский  
**Периодичность:** 4 раза в год  
**Вид издания:** журнал  
**Версия издания:** печатное

зарегистрировано в Национальном центре ISSN Российской Федерации.

Изданию присвоен номер ISSN: 2782-2141

Владелец номера предупреждается о том, что номер ISSN нужно использовать в строгом соответствии с нормативными документами, не передавать его другим лицам и организациям.  
Об изменениях в сведениях, заявленных при регистрации, в т. ч. о любых изменениях в заглавии, изменении издателя, контактной информации и пр. необходимо сообщать в Национальный центр ISSN.

Свидетельство выдал / Наговицына А. В. /  
09.04.2021



Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационное телеграфное агентство России (ИТАР-ТАСС)»,  
Российская книжная палата  
125993, Москва, ГСП-3, Тверской бульвар, д. 10-12, тел.: +7 (499) 791-04-44, web: www.tass.ru



# СВИДЕТЕЛЬСТВО

о регистрации в Национальном центре

## ISSN

и присвоении Международного стандартного номера  
серийного издания  
(International Standard Serial Number)

**Издание: Основное заглавие:** Техника средств связи (Санкт-Петербург. Online)  
**Параллельное заглавие:** Means of communication equipment  
**Ключевое заглавие:** Техника средств связи  
**Номер Свидетельства о регистрации СМИ в Роскомнадзоре:** Эл № ФС 77-80136 от 31.12.2020  
**Издатель:** Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии»  
**Место издания:** г. Санкт-Петербург  
**URL:** mce-journal.ru  
**Язык издания:** русский, резюме: английский  
**Периодичность:** 4 раза в год  
**Вид издания:** журнал  
**Версия издания:** сетевое

зарегистрировано в Национальном центре ISSN Российской Федерации.

Изданию присвоен номер ISSN: 2782-2133

Владелец номера предупреждается о том, что номер ISSN нужно использовать в строгом соответствии с нормативными документами, не передавать его другим лицам и организациям.  
Об изменениях в сведениях, заявленных при регистрации, в т. ч. о любых изменениях в заглавии, изменении издателя, контактной информации и пр. необходимо сообщать в Национальный центр ISSN.

Свидетельство выдал / Наговицына А. В. /  
09.04.2021



Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационное телеграфное агентство России (ИТАР-ТАСС)»,  
Российская книжная палата  
125993, Москва, ГСП-3, Тверской бульвар, д. 10-12, тел.: +7 (499) 791-04-44, web: www.tass.ru

## Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

### Выписка

из реестра зарегистрированных средств массовой информации  
по состоянию на 14.01.2021 г.

**Регистрационный номер и дата принятия решения о регистрации:** серия ПИ № ФС77-80135 от 31 декабря 2020 г.

**Статус средства массовой информации:** Действующее

**Наименование (название) средства массовой информации:** Means of communication equipment

**Язык(и):** русский, английский

**Перевод наименования (названия) на государственный язык Российской Федерации:** Техника средств связи

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

**Примерная тематика и (или) специализация:** Системы связи и телекоммуникации

**Форма периодического распространения (вид - для периодического печатного издания):** Периодическое печатное издание, журнал

**Территория распространения:** Российская Федерация

**Учредитель (соучредители):** Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ОГРН 1027801525608)



Заместитель начальника  
Управления разрешительной  
работы, контроля и надзора в сфере  
массовых коммуникаций

М.В. Виноградов

## Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

### Выписка

из реестра зарегистрированных средств массовой информации  
по состоянию на 14.01.2021 г.

**Регистрационный номер и дата принятия решения о регистрации:** серия Эл № ФС77-80136 от 31 декабря 2020 г.

**Статус средства массовой информации:** Действующее

**Наименование (название) средства массовой информации:** Means of communication equipment

**Язык(и):** русский, английский

**Перевод наименования (названия) на государственный язык Российской Федерации:** Техника средств связи

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

**Доменное имя сайта в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (для сетевого издания):** MCE-JOURNAL.RU

**Примерная тематика и (или) специализация:** Системы связи и телекоммуникации

**Форма периодического распространения (вид - для периодического печатного издания):** сетевое издание

**Территория распространения:** Российская Федерация, зарубежные страны

**Учредитель (соучредители):** Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ОГРН 1027801525608)



Заместитель начальника  
Управления разрешительной  
работы, контроля и надзора в сфере  
массовых коммуникаций

М.В. Виноградов