

СЕНТЯБРЬ, 2024

№1
(01)

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И СВЯЗЬ

НАУЧНЫЙ
РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ
В СИСТЕМЕ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ УПРАВЛЕНИЯ
И СВЯЗИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ
ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ОПЕРАЦИЯХ

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
СВОЕВРЕМЕННОСТИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК КИБЕРПРОСТРАНСТВА
НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ
ИЗ ЕГО СОСТАВА

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КОМПЛЕКСАХ
И СРЕДСТВАХ СВЯЗИ



СОДЕРЖАНИЕ

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И СВЯЗЬ

НАУЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

№1 (01) 2024 г.

Выходит 6 раз в год

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-88069 от 16.08.2024

Журнал принимает к публикации статьи по специальностям перечня научных специальностей 6.0.0.

Главный редактор

ИВАНОВ Василий Геннадьевич, к.в.н., доцент, Москва

Председатель Редакционного совета
РУБИС Александр Анатольевич, к.т.н., Москва

Шеф-редактор

МАКАРЕНКО Григорий Иванович, с.н.с., Москва

Редакционный совет

РЫЖОВ Геннадий Борисович, д.в.н., профессор, Москва

СТАРОДУБЦЕВ Юрий Иванович, д.в.н., профессор, Санкт-Петербург

ХАРЧЕНКО Евгений Борисович, к.соц.н., профессор, Москва

Редакционная коллегия

БУЙНЕВИЧ Михаил Викторович, д.т.н., профессор, Санкт-Петербург

ГЛУШАНКОВ Евгений Иванович, д.т.н., профессор, Санкт-Петербург

ИВАНОВ Сергей Александрович, д.т.н., Санкт-Петербург

КОЗАЧОК Александр Васильевич, д.т.н., доцент, Орел

КОРОБКА Сергей Владимирович, д.в.н., Москва

КОСТОГРЫЗОВ Андрей Иванович, д.т.н., профессор, Москва

МАКАРЕНКО Сергей Иванович, д.т.н., доцент, Санкт-Петербург

МАРКОВ Алексей Сергеевич, д.т.н., доцент, Москва

РЫЖКОВ Анатолий Васильевич, д.т.н., профессор, Москва

САВИЩЕНКО Николай Васильевич, д.т.н., профессор, Санкт-Петербург

СИВАКОВ Игорь Романович, д.в.н., Москва

ЦИМБАЛ Владимир Анатольевич, д.т.н., профессор, Серпухов

ФИНЬКО Олег Анатольевич, д.т.н., профессор, Краснодар

Учредитель и издатель

ФГБУ «16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт» Министерства обороны РФ

Над номером работали:

Г. И. Макаренко – шеф-редактор, Н. В. Селезнев – отв. секретарь,
А. Б. Сафонов – верстка, А.М. Старков – маркетинг и подписка

Подписано к печати 19.09.2024 г.

Общий тираж 120 экз. Цена свободная

Адрес: 141006, Московская обл., г. Мытищи,
1-й Русаковский пер, д. 1.

E-mail: editor@telemil.ru Тел.: +7 (985) 939-75-01.

Требования, предъявляемые к рукописям,
размещены на сайте: <https://telemil.ru/>

ВСТУПЛЕНИЕ

Иванов В. Г.	2
Рубис А. А.	3
Панков Р. Н.	4
Березовский В. А.	5

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СИСТЕМЕ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Агафонов Д. А., Панков Р. Н., Савицкий А. Ю.	7
---	---

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ОПЕРАЦИЯХ

Иванов В. Г., Лукьянчик В. Н., Поляков Д. Н.	16
---	----

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ

Бречко А. А., Филин А. В.	30
--------------------------------	----

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК КИБЕРПРОСТРАНСТВА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ИЗ ЕГО СОСТАВА

Закалкин П. В.	38
---------------------	----

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КОМПЛЕКСАХ И СРЕДСТВАХ СВЯЗИ

Долматов Е. А., Ягвитов Д. С.	48
------------------------------------	----

СИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ В ВООРУЖЕННЫХ КОНФЛИКТАХ СОВРЕМЕННОСТИ

Лукьянчик В. Н., Старков А. М., Сарафанников В. С.	59
---	----

МЕТОДИКА РАБОТЫ ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ ПО СВЯЗИ ОБЪЕДИНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПРИ ПЛАНИ- РОВАНИИ И ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ СВЯЗИС ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Савицкий А. Ю.	68
---------------------	----

ПОСТРОЕНИЕ ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ АЭРОПЛАТФОРМ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Карпов М. А., Лукьянчик В. Н., Васильева Т. Г.	77
---	----

МОДЕЛЬ синхронизации баз данных НА ОСНОВЕ АКТУАЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

Удальцов А. В.	94
---------------------	----

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИ- РОВАНИЯ СЕТИ ФЕЛЬДЪЕГЕРСКО-ПОЧТОВОЙ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Муратханов Д. Д.	101
-----------------------	-----

ПРАВИЛА ПОДАЧИ СТАТЕЙ ДЛЯ АВТОРОВ	113
---	-----

Подписка на журнал осуществляется в 2024 году через редакцию журнала



Уважаемые коллеги!

От имени всего коллектива журнала «Телекоммуникации и связь» поздравляю вас с выходом первого номера.

Главным управлением связи Вооруженных Сил Российской Федерации совместно с подчиненным научным учреждением – 16 Центральным научно-исследовательским испытательным институтом – учрежден научный журнал «Телекоммуникации и связь» с целью создания научной платформы, объединяющей профессионалов в области военной связи и телекоммуникации для обмена научными результатами и непрерывного профессионального развития.

Идея создания научного журнала в интересах научных и учебных заведений войск связи, а также предприятий промышленности, работающих в интересах развития военной инфотелекоммуникационной системы, возникла давно, она заключается в том, чтобы объединить под одной обложкой работы по военной электронике, информационному противоборству в военной сфере, военным системам управления и связи, чтобы авторы и читатели могли в научной среде обмениваться научными и практическими результатами своих исследований. Именно поэтому мы

называли его «Телекоммуникации и связь», так как система связи является технической основой системы военного управления.

В итоге мы надеемся увидеть тесное переплетение фундаментальной науки, прикладных исследований, инструментальных разработок, практических аналитических и технологических задач, регуляторной политики в области телекоммуникации и связи. Чтобы постоянно быть в курсе происходящего, профессиональному сообществу необходима информационная платформа, где специалисты совершенно разных профилей, из разных областей деятельности могли бы черпать информацию о современном состоянии и тенденциях развития науки, делиться своими достижениями, опытом, обсуждать общие задачи и проблемы.

Безусловно, важнейшей составляющей успешной работы любого журнала является уровень состава редакционной коллегии. В связи с этим мы включили в состав редколлегии ученых, определяющих развитие научных направлений, специалистов в создании нормативно-технической документации, регламентирующих на законодательном уровне функционирование научных организаций и промышленных предприятий, специалистов-практиков, знающих реальные проблемы и потребности в данной предметной области в проведении промышленных исследований и создании новых технологий и образцов техники связи.

Перед редакционной коллегией журнала стоят амбициозные планы, которые заключаются в развитии его научной и практической значимости и востребованности не только в войсках связи, но и в научно-техническом сообществе промышленных министерств и ведомств Российской Федерации и дружественных стран. В журнале ожидаются публикации по новым техническим разработкам средств и комплексов управления и связи, а также предполагается включение журнала в перечень изданий ВАК по следующим направлениям 6.000:

- Системный анализ, моделирование боевых действий и систем;
- Военная электроника, аппаратура комплексов военного назначения;
- Информационное противоборство в военной сфере;
- Военные системы управления, связи и навигации;
- Радиоэлектронная борьба.

В нашем журнале мы намерены публиковать интересные работы практиков, докторантов, адъюнктов, слушателей военных учебных заведений. Журнал наш, вне всякого сомнения, научно-практический, но мы считаем себя вправе иногда публиковать новостную и историческую публицистику, так как нет развития без осознания того, что уже было сделано.

Чтение научной периодики является обязательным элементом профессионального роста, поэтому мы будем стремиться к тому, чтобы это стало не только полезным и интересным, но и популярным видом досуга у связистов различного образовательного и практического уровня. Не сомневаюсь, каждый найдет на страницах журнала «Телекоммуникации и связь» немало полезного.

***Главный редактор журнала
«Телекоммуникации и связь»
В. Г. Иванов***

Уважаемый читатель!

Поздравляю Вас с выходом первого номера журнала «Телекоммуникации и связь». Основная тема журнала – современные технологии и средства управления и связи: от фундаментальной науки до промышленного производства.

Современные технологии и средства связи и военная наука об их эффективном применении – глубоко междисциплинарное направление как по методам, так и по областям приложений. Ее возможности и тренды развития напрямую определяются новыми подходами и технологиями, основанными на синергии различных военных и гражданских наук – физики и электроники, вычислительной техники и математики, тактики военного искусства и т. д.

С другой стороны, современные технологии связи и управления все более широко применяются в самых разных областях: от передачи голоса и данных до автоматического управления различными средствами. Как показывает опыт проведения специальной военной операции, боевые действия превращаются в высокотехнологические с использованием таких средств, о которых мы раньше читали в фантастических книгах. Трудно назвать область, которая сегодня обходится без современных технологий и средств связи.

Чтобы постоянно быть в курсе происходящего, профессиональному сообществу необходима информационная платформа, где специалисты совершенно разных профилей, из разных областей деятельности могли бы черпать информацию о современном состоянии и тенденциях развития телекоммуникационных технологий и средств связи, делиться своими достижениями, опытом, обсуждать общие задачи и проблемы.

Именно такой платформой призван стать журнал «Телекоммуникации и связь». Журнал для тех, кто создает и применяет современные технологии и комплексы и средства связи. Для тех, кто принимает решения. Словом, для специалистов самых различных областей, которым необходим широкий профессиональный кругозор.

На страницах журнала мы постараемся рассматривать не только научные и прикладные проблемы исследования веществ и материалов, но и связанные с ними вопросы: от передовых достижений в смежных науках до государственного регулирования, нормативно-правовой деятельности.

Регулярные обзоры новейшего оборудования с зарубежных и российских выставок будут соседствовать с обзорами наиболее значимых научных конференций. Но, конечно, основу журнала составят научно-технические статьи, прошедшие редакционный отбор и профессиональную редакционную обработку.



***Председатель Редакционного совета
журнала «Телекоммуникации и связь»
А. А. Рубис***

Дорогие коллеги!



Вы держите в руках первый выпуск журнала «Телекоммуникации и связь», учредителем которого является 16 Центральный научно-исследовательский испытательный ордена Красной Звезды институт имени маршала войск связи А.И.Белова Министерства обороны Российской Федерации.

Руководством страны и Вооруженных Сил в условиях проведения специальной военной операции уделяется приоритетное внимание совершенствованию технических основ систем военного управления армии и флота, формированию новых форм и способов применения войск связи, а также обобщению опыта боевого применения современных и перспективных средств связи.

Развитие любого общества, любой общественной формации неразрывно связано с развитием средств и способов распространения и доведения информации.

Одним из важнейших способов развития информационного пространства является совершенствование средств телекоммуникаций и связи – вне зависимости от их назначения и функциональной принадлежности.

В настоящее время идет ускорение процессов совершенствования и развития комплексов и средств телекоммуникации и связи, поиска новых форм и способов их применения.

В сложившихся условиях актуально наличие научного-практического журнала, на страницах которого военные связисты, работники промышленности и научных организаций смогут публиковать свои исследования и практические статьи в области военной связи.

Надеюсь, что журнал станет открытой площадкой для обсуждения и проведения острых дискуссий по вопросам развития телекоммуникационных технологий, комплексов и средств военной связи.

***Начальник «16 ЦНИИИ» Министерства обороны
Р. Н. Панков***

Военные связисты, работники промышленности и научных организаций!

Прочный тандем промышленности и военной науки позволяет создавать требуемые для повышения обороноспособности страны изделия специального назначения. Неоспорима головная роль одного из ведущих военных научных институтов – 16 Центрального научно-исследовательского испытательного ордена Красной Звезды института Министерства обороны Российской Федерации имени маршала войск связи А.И.Белова (16ЦНИИИ), формулирующего задачи по созданию инновационных изделий для нужд войск связи.

16 ЦНИИИ оказывает научно-методическую поддержку промышленным организациям и сопровождает их деятельность по созданию востребованных средств связи и автоматизации. Одной из таких организаций является Омский НИИ приборостроения (ОНИИП).

Сегодня АО «ОНИИП» – одно из крупнейших градообразующих предприятий Омска, представляющее собой научно-производственный комплекс с полным циклом работ от разработки, выпуска и модернизации до утилизации аппаратуры, комплексов и систем связи и управления.

Предлагаемые предприятием технические решения направлены на создание современных стационарных и мобильных узлов связи, работающих в унаследованных режимах, а также обеспечение новых возможностей информационного обмена на больших расстояниях связи в адаптивных помехозащищенных и скрытных радиоприемах.

Комплексные решения базируются на результатах успешных разработок специали-



Рис.1. Узел связи контейнерного типа разработки АО «ОНИИП»



стов ОНИИП перспективных каналообразующих средств: радиопередающих и радиоприемных устройств, радиостанций, сложных антенных систем с управляемой диаграммой направленности, новых средств автоматизации управления связью.

Многоканальные цифровые радиоприемные устройства омского производства успешно применяются в приемных радиоприемниках МО РФ и других силовых ведомствах для приема сигналов в диапазоне от единиц кГц до десятков МГц. Аппаратура способна функционировать в жестких условиях эксплуатации, в сложной электромагнитной обстановке, в радиосистемах с быстрой программной перестройкой по частоте, в новых радиоприемах адаптивной радиосвязи. Актуальной задачей последних лет стало оснащение цифровыми радиоприемными устройствами небольших радиостанций, что позволяет своевременно и достоверно доводить информацию до самых дальних гарнизонов.

Заложенные в цифровые коротковолновые радиопередающие устройства решения обеспечивают их эффективное применение как для решения задач помехозащищенной радиосвязи, так и для ведения радиоэлектронной борьбы.

Радиостанции 6-го поколения с заложенной в них технологией программно-определяемого радио (SDR) – основа для дальнейшего развития систем военной связи.

Такая аппаратура предлагает возможность применения инновационных способов информационного обмена в радионаправлениях коротковолновой связи.

Во многом уникальные характеристики создаваемых средств связи базируются на использовании разрабатываемых в ОНИИП радиокомпонентов.



Рис.2. Цифровые РПДУ различной мощности

Более десяти лет на предприятии успешно функционирует центр проектирования сверхбольших интегральных схем «система на кристалле», чья главная продукция – сложнфункциональные блоки и интегральные схемы на их основе.

В специализированном подразделении микро- и пьезоэлектроники ОНИИП создаются новейшие электронные компоненты и составные части радиоустройств. Это высокостабильные опорные кварцевые генераторы и резонаторы, дискретные и монокристаллические кварцевые фильтры, электромеханические фильтры, фильтры на поверхностных акустических волнах и ПАВ-микросборки, микросборки и микроблоки.



В последние годы, плотно сотрудничая с 16 ЦНИИИ, ОНИИП работает над созданием сложных распределенных систем автоматизированного управления связью (АСУС). Объемность, мас-



Рис.4. Микросборки и их изготовление



Рис.3. Радиостанция КВ-диапазона

штабность решаемых задач в перспективной АСУС, степень их важности для дальнейшего развития отечественных систем связи требуют постоянного творческого взаимодействия специалистов военной науки и промышленности. Работа в этом направлении уже ведется. Так, сотрудники 16 ЦНИИИ неоднократно посещали омские предприятия радиоэлектронной промышленности с возможностью «на месте» ознакомиться с применяемыми технологиями производства, обсудить с разработчиками актуальные направления развития средств связи и АСУ, подробно и обстоятельно донести до них общий замысел построения перспективных систем. Неоднократно работали в ЦНИИИ и сотрудники ОНИИП, обсуждая наиболее перспективные технико-технологические методы решения поставленных перед ОНИИП задач, докладывая о результатах проведенных исследований и практических работ.

Сегодня, как никогда, мы понимаем важность дальнейшей совместной работы и выражаем надежду, что установленные деловые и творческие отношения между АО «ОНИИП» и 16 ЦНИИИ Минобороны РФ будут развиваться и укрепляться.

Мы надеемся, что учреждение 16 ЦНИИИ нового научного журнала «Телекоммуникации и связь» будет способствовать развитию военной науки и явится заметным местом научных дискуссий.

Желаю творческих успехов редакции нового журнала.

**Генеральный директор АО «ОНИИП»
В. А. Березовский**

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СИСТЕМЕ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Агафонов Д.А.¹, Панков Р.Н.² Савицкий А. Ю.³

Ключевые слова: нейронные сети, интеллектуальная плоскость, система связи, система управления связью, эффективность, основное свойство системы военной связи.

Цель исследования: заключается в изучении возможностей и перспектив применения искусственного интеллекта в военном деле, особенно в области управления связью и логистикой, а также в разработке рекомендаций по оптимизации этих процессов для повышения эффективности и безопасности военных операций.

Метод исследования: в исследовании использован метод анализа и синтеза, позволяющий комплексно оценить перспективы внедрения систем искусственного интеллекта в управленческую деятельность и системы связи военного назначения.

Результат в ходе исследования были разработаны и предложены инновационные методы повышения эффективности управления связью в условиях боевых действий с применением искусственного интеллекта. Это позволит оптимизировать процессы формирования структуры системы связи, выбора оптимальных маршрутов передачи данных, прогнозирования возможных потерь и обеспечения когнитивной радиосвязи. Важной составляющей является необходимость оперативной корректировки решений, принимаемых системами искусственного интеллекта, для адаптации к изменяющимся условиям и непредвиденным обстоятельствам. В работе подробно рассмотрены потенциальные преимущества и направления использования искусственного интеллекта в военных коммуникациях, включая формирование структуры системы связи, оптимизацию выбора маршрутов передачи данных, прогнозирование возможных потерь и обеспечение когнитивной радиосвязи. Особое внимание уделено необходимости оперативной корректировки решений, принимаемых системами искусственного интеллекта, для адаптации к изменяющимся условиям и непредвиденным обстоятельствам.

Научная новизна данного исследования заключается в разработке комплексного подхода к применению искусственного интеллекта в военных коммуникациях, который учитывает не только текущие условия, но и способность систем адаптироваться к изменениям в режиме реального времени. В рамках исследования были разработаны и предложены инновационные подходы к повышению эффективности управления связью в условиях боевых действий с использованием искусственного интеллекта. Особенностью исследования является акцент на необходимости оперативной корректировки решений, принимаемых системами искусственного интеллекта, для адаптации к изменяющимся условиям и непредвиденным обстоятельствам. Это отличает данную работу от предыдущих исследований, которые в основном фокусировались на статических решениях без учёта динамической природы боевых действий.

ВВЕДЕНИЕ

Искусственный интеллект – комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека. Комплекс технологических решений включает в себя информационно-коммуникационную инфраструктуру, программное

¹ Агафонов Дмитрий Алексеевич, начальник научно-исследовательской лаборатории ФГБУ «16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт» Минобороны России, Московская область, г. Мытищи. E-mail: invisibl78@yandex.ru

² Панков Роман Николаевич, начальник ФГБУ «16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт» Минобороны России, Московская область, г. Мытищи E-mail: ronasava@mail.ru

³ Савицкий Алексей Юрьевич, адъюнкт кафедры организации связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: savialexey7@mail.ru

обеспечение (в том числе, в котором используются методы машинного обучения), процессы и сервисы по обработке данных и поиску решений. Искусственный интеллект (ИИ; англ. *artifical intelligence*) – свойство интеллектуальных систем выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека [1-5].

В Указе Президента Российской Федерации от 10 сентября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта на период до 2030 года»¹ определены основные принципы и приоритетные направления развития и использования технологий искусственного интеллекта, перспективные методы искусственного интеллекта, направленные на алгоритмическое решение задач, обработку информации на основе новых типов вычислительных систем, интеллектуальную поддержку принятия решения.

Становление новой информационной технологии обусловлено тем, что в теории искусственного интеллекта (и ранее в теории ситуационного управления, предложенной профессором Д. А. Поспеловым) были разработаны логико-лингвистические модели². Они позволяют формализовать конкретные содержательные знания об объектах управления и протекающих в них процессах, т. е. ввести в ЭВМ логико-лингвистические модели наряду с математическими. Логико-лингвистические модели — семантические сети, фреймы, продукционные системы иногда объединяются понятием «программно-аппаратные средства в системах искусственного интеллекта». Именно логико-лингвистическим моделям обязаны своим появлением базы знаний.

Таким образом, новую информационную технологию отличают от существующей следующие принципиальные особенности:

- с помощью специальных формализмов (логико-лингвистических моделей) декларативные и процедурные знания представляются в электронной форме, и решение задач с помощью ЭВМ протекает более эффективно;
- логико-лингвистическое моделирование резко расширило применение ЭВМ за счет трудно или совсем не формализуемых ранее областей знаний и сфер деятельности (управление гибким роботизированным производством, робо-

тами различного предназначения, диспетчерское управление и другие);

- специалистам (должностным лицам) обеспечивается прямой (без посредников) доступ к ЭВМ в диалоговом режиме для решения своих задач за счет программно-аппаратных средств искусственного интеллекта и образования интеллектуального интерфейса ЭВМ.

Оснащение средствами искусственного интеллекта и объединение ЭВМ в сети (на сетевом уровне) способствует созданию новых технологий информационно-организационного процесса, решающего крупномасштабные задачи и проблемы. В результате реализуется переход к так называемой безбумажной информатике, о чем писал на заре развития кибернетики в 70-е годы – 53 года назад – академик В. М. Глушков, столетие которого со дня рождения которого отметила научная общественность 24 августа 2023 года.³

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

В настоящее время системы искусственного интеллекта, функционирующие на принципах новой информационной технологии, подразделяются на следующие:

- интеллектуальные информационно-поисковые системы (вопросно-ответные системы), обеспечивающие в процессе диалога взаимодействие конечных пользователей-непрограммистов с базами данных и знаний на профессиональных языках пользователей, близких к естественному;
- расчетно-логические системы, позволяющие конечным пользователям, не являющимся программистами и специалистами в области прикладной математики, решать в диалоговом режиме свои задачи на ЭВМ с использованием сложных математических методов и соответствующих прикладных программ;
- экспертные системы, дающие возможность осуществлять эффективную компьютеризацию областей, в которых знания могут быть представлены в экспертной описательной форме, но использование математических моделей,

¹ Указ Президента Российской Федерации 10.10.2019 г. №490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации»(вместе с «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года»). www.consultant.ru. Доступ 14.08.2024.

² Поспелов Г.С., Искусственный интеллект– основа новой информационной технологии. М.; Наука, 1988 г. (Сер. «Академические чтения». С. 6 – 36.

³ Глушков В.М. Основы безбумажной информатики // Изд 2-е. испр. М.:Наука. 1987. 552 с.

характерных для точных наук, затруднительно, а иногда и невозможно.

Именно благодаря экспертным системам искусственный интеллект приобрел стратегическое значение в развитии науки, проектирования, управления и других областях. Особо важное значение приобретают так называемые гибридные экспертные системы — объединение традиционных экспертных систем с расчетно-логическими. Иными словами, в гибридных экспертных системах логико-лингвистические модели используются совместно с математическими.

Ещё одной важнейшей особенностью систем новой информационной технологии является адаптация и гибкость их программных систем по отношению к задачам, относящимся к той или иной предметной области. Во всех этих случаях нельзя сказать априори, посредством какой модели, алгоритма и системы программ решается задача или распознается ситуация.

Все упомянутые системы искусственного интеллекта ориентированы на знания, поэтому дальнейший прогресс систем искусственного интеллекта и новой информационной технологии предопределяет развитие трех основных теоретических проблем:

- представления знаний — центральная проблема искусственного интеллекта;
- компьютерной лингвистики, решение которой обеспечивает процесс естественно языкового общения с ЭВМ;
- компьютерной логики, имеющей особо важное значение для развития экспертных систем, поскольку ее цель — моделирование человеческих рассуждений и преобразование программирования из искусства в науку.

Область ИИ пересекается со многими другими областями, включая математику, статистику, теорию вероятности, физику, обработку сигналов, машинное обучение, компьютерное зрение, психологию, лингвистику и науку о мозге.

В обиход входит такое словосочетание как «искусственные нейронные сети» – ИНС. Они представляют собой математические модели, созданные по аналогии с биологическими нейронными сетями. ИНС способны моделировать и обрабатывать нелинейные отношения между входными и выходными сигналами.

Современные технологии машинного обучения и ИИ в сочетании с правильно подобранными и подготовленными «тренировочными» данными для системы могут позволить научить компьютеры «программировать» за челове-

ка при решении таких задач как планирование связи, управление связью, развёртывание линий и сетей связи и другие. При этом должностное лицо имеет терминальный доступ к ЭВМ как конечный пользователь, имеющий навыки работать клавиатурой терминала в тестовом редакторе, при построении графиков, таблиц. Другой доступ к машине лежит через создание средств, реализуемых внутри ЭВМ, когда все функции посредника берет на себя машина, т. е. через создание интеллектуального интерфейса ЭВМ. Реализация его возможна только на основе методов и идей, полученных в области искусственного интеллекта.

В этом случае за счет использования логико-лингвистических моделей, реализуемых с применением программно-аппаратных средств в системах искусственного интеллекта, образуется интеллектуальный интерфейс (рис. 1). Он делает возможным прямое общение пользователя-непрограммиста (должностного лица) с ЭВМ и тем самым способствует компьютеризации органов военного управления (управления, отдела связи) по эффективному решению совместных задач на всех этапах их деятельности.

Использование средств связи и образование локальных и глобальных вычислительных сетей обеспечивает включение ЭВМ с интеллектуальным интерфейсом в процесс общения должностных лиц в области планирования, оперативного управления, научных исследований и другие.

Искусственный интеллект, как основа новой информационной технологии, умножает



Рис. 1. Схема новой информационной технологии – искусственный интеллект

интеллектуальные ресурсы общества, поскольку взаимодействие пользователя с ЭВМ на своем профессиональном языке интенсифицирует интеллект пользователя, увеличивает объем его памяти и усиливает способность к логическому выводу. И если ранее говорилось об индустрии обработки данных, то сейчас в связи с использованием идей и методов искусственного интеллекта стало правомерным говорить об индустрии интеллектуальных систем.

С учетом постоянно возрастающих возможностей применения программного продукта для обеспечения функционирования сложных систем подразумевается все возрастающее по своему охвату применение систем искусственного интеллекта в военной области.

Согласно положениям ряда отечественных научных источников, в Российской Федерации разработана и принята Концепция развития военных технологий искусственного интеллекта [6]. Она базируется и создается на основе методов обеспечения и алгоритмов функционирования, в том числе, когнитивной радиосвязи, а также подходов к разработке и применению робототехнических комплексов военного назначения и прогнозирования боевых действий на базе систем искусственного интеллекта.

Одно из основных направлений применения систем ИИ в военной области подразумевает решение задачи аналитической оценки соотношения сил разнородных войск и сил с учетом тактико-технических характеристик образцов вооружения, их позиций в геоинформационной системе и особенностей информационных потоков между образцами. В этом случае подразумевается применение метода детерминированных клеточных автоматов с автоматизацией управления полем военных действий [7].

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СФЕРЕ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Весьма актуальным, с учетом вышеизложенного, является рассмотрение возможных направлений применения систем искусственного интеллекта в системах военной связи и на этой основе проанализировать возможное повышение ее эффективности на этапе планирования связи, развёртывания сетей и систем связи различного уровня и назначения. Особо это важно при рассмотрении перспективных системы связи военного назначения, которые представляют собой сложные системы как в структурном построении, так и по использованию различных

средств связи при развёртывании линий связи и управлению связью в различные периоды действия войск.

Одним из возможных направлений применения искусственного интеллекта в военной области является военная связь. При этом надо учесть, что на этапе совершенствования технических средств обработки и передачи сообщений уже применялись способы решения ряда технических задач, которые можно приравнять к началам развития области искусственного интеллекта в военной связи [8].

Примерами таких технических решений являются:

- решающая обратная связь (РОС), применяющаяся при обеспечении работы специальной аппаратуры, когда методами кодирования и обмена группой специальных символов между передающей и приемной аппаратурой достигается неискаженная передача основного документа;
- автоматическая регулировка усиления (АРУ), применяется для поддержания установленных характеристик каналов передачи/приёма многоканальной аппаратуры связи при изменяющихся параметрах среды распространения сигналов;
- автоматическое ориентирование приемопередающей антенны спутниковой связи на ретранслятор, находящийся в активной зоне приемопередачи (ретрансляторы на высокоэллиптических орбитах);
- автоматическая подстройка частоты (АПЧ), которая наибольшее распространение такого технического решения нашла в средствах радиосвязи. В последующем этот метод распространился и на автоматическую регулировку мощности передающего сигнала в зависимости от условий распространения радиоволн между корреспондирующими станциями;
- псевдослучайная перестройка рабочей частоты (ППРЧ) радиосредств при воздействии различного рода помех, изменениях электромагнитной и радиочастотной обстановки, возмущениях ионосферы и другие.
- автоматическое (автоматизированное) обеспечение связи мобильным абонентам, находящимся на стоянке и в движении через станции радиодоступа развёрнутых в зонах (районах) действия войск.

В перспективных средствах связи технология искусственного интеллекта получила своё дальнейшее развитие при формировании принципиально новых направлений модульного

построения средств, включающих в себя программно-аппаратный комплекс, в котором реализуется многопараметрическая адаптация работы средств на организационном и техническом уровнях, самовосстанавливаемость, криптозащита информации и другие.

Для систем (сетей) связи военного назначения характерными являются: динамичность структурного изменения в зависимости от действия войск и создаваемого трафика; виртуализация сетевых функций, разнородность используемых средств связи; требуемая (необходимая) пропускная способность, увеличение количества пользователей; время на установление (развёртывание линий) связи с требуемым качеством (вероятностью); изменение сетевого оборудования.

В этих условиях поддержание системы связи в заданных требованиях представляется сложной задачей не только в повседневной деятельности войск, но и обеспечение потребностей управления войсками в особых (сложных) периодах их деятельности. Роль управления связью является значительной для обеспечения выполнения задач по оперативному, оперативно-техническому и технологическому управлению.

Включение технологий искусственного интеллекта в процесс управления связью позволит добиться значительных результатов при решении всего комплекса задач при планировании связи и принятии решения на организацию связи в операции (-ях).

Поэтому комплекс управленческих и технологических задач, при решении которых на подобных системах могут быть задействованы элементы искусственного интеллекта, является весьма обширным и многогранным, так как необходимо провести всестороннюю оценку состояния стационарной системы связи и определить степень её соответствия потребностям управления войсками. Предстоит уяснить цели и задачи по развёртыванию полевой системы связи и определить её сетевую структуру на основе искусственного интеллекта. На рисунке 2 приведена архитектура формирования системы связи с применением интеллектуальной плоскости [9].

Интеллектуальная плоскость отвечает за обеспечение интеллекта для всей системы и действует как мозг системы. Интеллектуальная плоскость может состоять из уровня решений, приложений и терминалов, платформы, базового

уровня (ядра)¹.

Уровень решений отвечает за разработку принятия «гибких» решений и связанных с ними действий, направленных на удовлетворение требований по управлению связью, элементам развёртываемых сетей, системам управления подчинёнными сетями и другим функциям. С развитием технологий виртуализации сетевых функций и программно-определяемых сетей управление сетью становится более точным. Виртуализация происходит не только на уровне сетевых элементов, но и на уровне таких компонентов, как процессор, память, порт, пропускная способность.

Прикладной и терминальный уровни предоставляют возможности модульной реализации функций, необходимых для уровня решений. Функции здесь могут включать в себя: управление потоками, распределение нагрузки, маршрутизацию, формирование сетей (РРТПО-ЭС, РАДИО, СПУТНИКОВОЙ), расчёт и распределение узлов связи, безопасность, энергосбережение и другое.

Эти реализации могут быть в программном или аппаратном обеспечении исполнены уровнем платформы на основе способностей восприятия и мышления. Увеличение сетевого оборудования и пользовательских терминалов приводит к расширению размера сетей, увеличению количества пользователей, поэтому управление связью становится все сложнее и труднее, чтобы поддерживать с приемлемым качеством обслуживание. В перспективных сетях при цифровой обработке сообщений возрастают скорости передачи, что связано с увеличением пропускной способности, динамики распределения нагрузки на линиях, узлах связи и доведение её до пользователей. Исходя из этого применение интеллектуальных технологий будет способствовать обоснованию знаний, решению проблем неоднородностей, связанных с разнотипностью оборудования на сетях связи.

Уровень платформы предоставляет интеллектуальные плоскости для реализации логики способностей и поведения ИИ, таких как интеллектуальное восприятие, машинный разум, интеллектуальные действия и другие. Функция интеллектуального восприятия может использовать теории и алгоритмы основного уровня и взаимодействовать с базой данных базового уровня, поддерживаемыми вычислительными

¹ Предложения в концепцию развития технологий искусственного интеллекта в Вооруженных Силах Российской Федерации / журн. «Инновационный вестник», №3, 2019г. с. 42 – 45.



Рис. 2. Архитектура формирования системы связи на основе интеллектуальной плоскости

ресурсами, чтобы воспринимать тенденции развития сетей и услуг. Функция машинного разума включает в себя машинное обучение, машинное мышление, машинное понимание. Машинное обучение состоит из способностей, генерируемых такими алгоритмами, как глубокое обучение, мозговой интеллект и рой. Функция машинного мышления обеспечивает способность отображать и обосновывать знания. Функция машинного понимания обеспечивает способность к пониманию на основе имеющихся знаний и явлений, решение проблемы неоднозначности при оценке обстановки и сформулированных (обоснованных) предложениях.

Базовый уровень представляют собой алгоритмическое описание сетей и обеспечивает поддержку статических и динамических исходных данных (состояние линий и узлов связи, изменения трафика), экспертных знаний, данных сетевой инфраструктуры, собранных сетевыми датчиками различных сетевых уровней, такие как состояние различных видов оборудования (коммутационного, каналообразования, серверов и другого), исполь-

зуемых при проведении расчётов. Технология ИИ может быть реализована на основе интегрированных алгоритмов, искусственных нейронных сетей, представления и обработки знаний, интеллектуального анализа знаний и других. С помощью вычислительных и сетевых баз осуществляется обработка данных, в результате чего происходит формирования текстовых и графических документов по связи.

Учитывая динамику сетевой системы, информация о состоянии канального ресурса и потребности управления войсками, происходят постоянные временные изменения, которые передаются в систему управления сетью. Следовательно, управление сетью может знать только информацию о локальных состояниях без знания внутреннего состояния системы. У машинного обучения есть возможность справиться с такой нечеткой логикой и неопределенностью. Это

возможно за счёт глубокого обучения создаваемой модели со множеством скрытых слоев и использованием иерархической сетевой структуры. В частности, ИИ не нуждается в точном описании математической модели системы и, следовательно, обладает способностью справляться с неопределенностью.

Каждый компонент интеллектуальной плоскости, выполняя различные функции, оснащается датчиками и исполнительными устройствами, с помощью которых воспринимается состояние объекта в составе сети связи (инфраструктуры) и с помощью ИИ проводятся соответствующие действия.

С учетом особенностей функционирования систем связи военного назначения наибольший интерес, представляют сети, развертываемые полевыми средствами, в которых реализованы функции ИИ.

К наиболее известным и, пожалуй, необходимым в настоящее время направлениям применения систем искусственного интеллекта, являются системы (сети) связи, развёртываемые

полевыми средствами связи:

- формирование структуры системы и сетей связи (РРТПОС, радио и спутниковой) в динамике выполнения задач войсками при перемещении пунктов управления и узлов связи;
- выбор рациональных маршрутов перемещения аппаратных и станций узла связи в новый район в условиях применения противником высокоточного, химического и оружия на новых физических принципах;
- оперативный расчет трасс для радиорелейных и тропосферных линий при развертывании узлов связи пунктов управления и элементов полевой опорной сети связи в незапланированных районах;
- прогнозирование потерь на объектах системы связи с учетом данных о противнике и стратегии применения им средств поражения для воздействия на элементы системы связи;
- оценка состояния транспортной сети связи объединения (соединения) и автоматическое принятие решения на основе систем искусственного интеллекта о поиске и реализации рационального пути передачи сообщений между узлами связи пунктов управления;
- обеспечение так называемой когнитивной радиосвязи. В этом случае основной её задачей является определение оптимального пространства распространения радиоволн между корреспондирующими радиостанциями и передача сигналов в незанятой или частично занятой части спектра, либо генерирование/подавление помех;
- динамическое перестроение структуры системы связи, автоматическая маршрутизация и перераспределение трафика на ветвях (линиях) и между узлами связи.

Применение систем искусственного интеллекта на элементах системы связи военного назначения не является панацеей. Эти системы при обеспечении связи и управлении ею в ходе ведения боевых действий станут существенным подспорьем органам управления связью и командирам соединений (воинских частей) связи при решении задач обеспечения управления войсками (силами, оружием). В то же время они не смогут полностью заменить мыслительную деятельность людей при планировании связи, развертывании системы связи и управлении её элементами в условиях неопределенности, что чаще всего будет иметь место в боевой обстановке. Такие системы будут оказывать существенную помощь долж-

ностным лицам органов управления связью и командирам соединений (воинских частей) в мероприятиях по оперативной (в масштабе времени, близком к реальному) оценке войск и состояния элементов системы связи в боевых условиях.

При планировании применения систем искусственного интеллекта в военной области, в том числе области связи, следует учитывать одну из важнейших особенностей такого решения. Если при создании интеллектуальных сетей связи общего назначения рассматриваются интеллектуальная, агентская и бизнес-плоскости такого процесса, то в системе связи военного назначения первую ступень иерархии должны занимать вопросы применения ИИ для оценки ожидаемой эффективности функционирования системы связи в конфликтной ситуации. При этом основную долю в такой ситуации занимают действия противника по нарушению работы системы связи, имеющие, как правило, неопределенный характер.

Предварительные расчеты, осуществляемые в ходе выполнения ряда научных исследований, позволяют утверждать, что применение систем ИИ позволит повысить эффективность управленческой деятельности в 1,3...1,7 раза [10].

При создании фрагментов системы связи с элементами искусственного интеллекта на ряде ее объектов и составных частей, а также на полевых аппаратных и станциях связи, следует предусматривать возможность оперативной корректировки принимаемых такими системами решений. Такая корректировка, при необходимости, может осуществляться должностными лицами органов управления связью и штабов соединений (воинских частей).

ВЫВОДЫ

В заключении необходимо отметить следующее. Развитие искусственного интеллекта стало задачей XXI века. Он значительно расширяет возможности сбора и анализа данных. Появится больше возможностей доступа к различного рода источникам информации.

Системы связи военного назначения характеризуются динамичностью структуры, виртуализацией сетевых функций, разнообразием используемых средств связи, необходимостью обеспечения требуемой пропускной способности и увеличением количества пользователей.

Поддержание системы связи в заданных требованиях является сложной задачей как в повседневной деятельности войск, так и в обеспечении потребностей управления войсками в особых периодах их деятельности.

Управление связью играет значительную роль в обеспечении оперативного, оперативно-технического и технологического управления.

Технологии искусственного интеллекта могут значительно улучшить процессы планирования связи и принятия решений об организации связи в операциях.

Применение систем искусственного интеллекта в военной области, в частности в области связи, требует особого внимания к оценке ожидаемой эффективности функционирования системы связи в конфликтной ситуации.

Развитие искусственного интеллекта значительно расширяет возможности сбора и анализа данных, предоставляя доступ к различным источникам информации. Это окажет существенную помощь должностным лицам органов управления связью и командирам при решении задач обеспечения управления войсками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абросимов В.К. Искусственный интеллект и проблемы развития вооружения и военной техники // Вооружение и экономика. 2021. №2(56). С.5-21
2. Мещеряков Р. В., Мельников С.Ю., Пересыпкин В.А., Хорев А. А. Перспективные направления применения технологий искусственного интеллекта при защите информации // Вопросы кибербезопасности. 2024. № 4(62). С.2-12. DOI: 10.21681/1994-1404-2024-4-2-12
4. Карцгия А. А., Макаренко Г. И. Правовые проблемы применения искусственного интеллекта в России // Правовая информатика, 2024. №1. С.4-19. DOI: 10.21681/1994-1404-2024-1-4-19
5. Абросимов В.К., Горский А.С. Методический подход к решению задач классификации систем (технологий) искусственного интеллекта в интересах вооруженных сил Российской Федерации // Вооружение и экономика. 2021. №4(58). С.41-53.
6. Соколов И.А., Дрожжинов В.И., Райков А.Н. и др. Перспективы применения ИИ в России для государственного управления // International Journal of Open Information Technologies. 2017. <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-kakstrategicheskoyinstrument-ekonomicheskogo-razvitiya-strany-i-sovershenstvovaniya-eegosudarstvennogo-1>. (Обращение 12.08.2024)
7. Кокшшин А.А. Перспективы развития военной техносферы – будущее войн и боевого применения военной силы. Вестник Академии военных наук. № 2. 2019. С. 26 – 29.
8. Иванов В. Г. Основы построения и оценки эффективности функционирования системы связи специального назначения в международном вооруженном конфликте на основе многосферной и конвергентной структуры ее элементов: Монография. – СПб. : ПОЛИТЕХ, 2023. – 298 с.
9. Малыгин И.Г., Тарабаев А.А., Аванесов М.Ю. Интеграция искусственного интеллекта в коммуникационные сети и услуги // Информация и космос. 2019. №4, С. 6 – 11.
10. Соколов И.А. Теория и практика применения методов искусственного интеллекта // Вестник Российской академии наук. Том 89. № 4. 2019. С. 368

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SPECIAL PURPOSE COMMUNICATION SYSTEMS

Agafonov D.A. ¹, Pankov R.N. ² Savitsky A. Yu.³

Keywords: artificial intelligence, intelligent plane, communication system, communication control system, efficiency, main property of military communication system.

The purpose of the study is to study the possibilities and prospects of using artificial intelligence in military affairs, especially in the field of communications and logistics management, as well as to develop recommendations for optimizing these processes to improve the efficiency and safety of military operations.

Research method. The study used the method of analysis and synthesis, which allows for a comprehensive

¹ Agafonov Dmitry Alekseevich, Head of the Research Laboratory of the Federal State Budgetary Institution “16th Central Research and Testing Institute” of the Ministry of Defense of Russia, Moscow Region, Mytishchi. E-mail: invisibl78@yandex.ru

² Pankov Roman Nikolaevich, Head of the Federal State Budgetary Institution “16th Central Scientific Research Testing Institute” of the Ministry of Defense of Russia, Moscow Region, Mytishchi.

³ Savitsky Alexey Yuryevich, Adjunct of the Department of Communications of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: savialexey7@mail.ru

assessment of the prospects for introducing artificial intelligence systems into management activities and military communications systems.

The results of the research were formulate and innovative methods were proposed for assessing the effectiveness of communication management in conditions of general actions using artificial intelligence. This will allow optimizing solutions for forming the structure of the communication system, selecting optimal data transmission routes, predicting possible losses and providing cognitive radio communications. An important factor is the need to quickly adjust decisions made in the conditions of artificial intelligence to adapt to changing conditions and unforeseen circumstances. The work examines in detail the potential advantages and directions for using artificial intelligence in military communications, including the formation of the structure of the communication system, optimization of the choice of data transmission routes, forecasting possible losses and providing cognitive radio communications. Particular attention is paid to the need for prompt adjustment of decisions made by artificial intelligence systems to adapt to changing conditions and unforeseen circumstances.

The scientific novelty of this research lies in the development of an integrated approach to the use of artificial intelligence in military communications, which takes into account not only current conditions, but also the ability of systems to adapt to changes in real time. As part of the research, innovative approaches were developed and proposed to improve the efficiency of communications control in combat conditions using artificial intelligence. A special feature of the study is the emphasis on the need to quickly adjust decisions made by artificial intelligence systems to adapt to changing conditions and unforeseen circumstances. This distinguishes this work from previous studies, which mainly focused on static solutions without taking into account the dynamic nature of combat operations.

REFERENCES

1. Abrosimov V.K. Iskusstvennyj intellekt i problemy razvitija vooruzhenija i voennoj tehniki // Vooruzhenie i jekonomika. 2021. №2(56). S.5-21
2. Meshherjakov R. V., Mel'nikov S. Ju., Peresytkin V. A., Horev A. A. Perspektivnye napravlenija primeneniya tehnologij iskusstvennogo intellekta pri zashhite informacii // Voprosy kiberbezopasnosti. 2024. № 4(62). S.2-12. DOI: 10.21681/1994-1404-2024-4-2-12
3. Karchija A. A., Makarenko G. I. Pravovye gorizonty tehnologij iskusstvennogo intellekta: nacional'nyj i mezhdunarodnyj aspekt // Voprosy kiberbezopasnosti. 2024, № 1(59), s. 2–14. DOI:10.21681/2311-3456-2024-1-2-14
4. Karchija A. A., Makarenko G. I. Pravovye problemy primeneniya iskusstvennogo intellekta v Rossii // Pravovaja informatika, 2024. №1. S.4-19. DOI: 10.21681/1994-1404-2024-1-4-19
5. Abrosimov V.K., Gorskij A.S. Metodicheskij podhod k resheniju zadach klassifikacii sistem (tehnologij) iskusstvennogo intellekta v interesah vooruzhennyh sil Rossijskoj Federacii // Vooruzhenie i jekonomika. 2021. №4(58). S.41-53.
6. Sokolov I.A., Drozhzhinov V.I., Rajkov A.N. i dr. Perspektivy primeneniya II v Rossii dlja gosudarstvennogo upravlenija // International Journal of Open Information Technologies. 2017. <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-kakstrategicheskijinstrument-ekonomicheskogo-razvitiya-strany-i-sovershenstvovaniya-eegosudarstvennogo-1>. (Obrashhenie 12.08.2024)
7. Kokoshin A.A. Perspektivy razvitija voennoj tehnosfery – budushhee vojn i boevogo primeneniya voennoj sily. Vestnik Akademii voennyh nauk. № 2. 2019. S. 26 – 29.
8. Ivanov V. G. Osnovy postroeniya i ocenki jeffektivnosti funkcionirovaniya sistemy svjazi special'nogo naznachenija v mezhdunarodnom vooruzhennom konflikte na osnove mnogosfernoj i konvergentnoj struktury ee jelementov: Monografija. – SPb. : POLITEH, 2023. – 298 s.
9. Malygin I.G., Tarabaev A.A., Avanesov M.Ju. Integracija iskusstvennogo intellekta v kommunikacionnye seti i uslugi // Informacija i kosmos. 2019. №4, S. 6 – 11.
10. Sokolov I.A. Teorija i praktika primeneniya metodov iskusstvennogo intellekta // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. Tom 89. № 4. 2019. S. 368 ■

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ОПЕРАЦИЯХ

Иванов В. Г.¹, Лукьянчик В. Н.², Поляков Д. Н.³

Ключевые слова: канал связи, диапазон частот, управление, военные действия, роботы, система, сети, автоматизация, оператор.

Цель исследования: Разработать (обосновать) предложения, способствующие эффективному применению робототехнических комплексов при совместном их применении с обычными видами вооружения в бою и операции, на основе технических решений в области управления и связи.

Метод исследования: Аналитический с привлечением математического аппарата для определения дальности прямой радиовидимости между робототехническим комплексом и наземным пунктом управления в зависимости от высоты размещения антенн и повышения энергетического потенциала радиолинии.

Результат исследования в области применения и управления робототехническими комплексами на основе опыта СВО при обеспечении войск в бою и операции во всех видах выполнения задач: оборона, наступление, штурмовые действия, контрбатарейная борьба (война) и другие. В статье сформулирован (определён) перечень общих технических требований к системе управления робототехническими комплексами (СУ РТК), которые включают комплекс мероприятий (задач) как организационного плана, так и технических решений. Собственно, они и явились основополагающими при обосновании, выборе и принятии СУ РТК, обеспечивающей эффективное боевое применение комплекса. Кроме того, в статье нашло рассмотрение управления как одиночными РТК, так и в составе роя. В этом случае централизованное управление будет сочетаться с децентрализованным, так как в одной стое могут находиться (применительно к БПЛА) разведывательные, ударные аппараты и радиоэлектронной борьбы.

Для устойчивого управления РТК необходимо иметь канал связи, который должен обладать помехоустойчивостью, соответствующей пропускной способностью и дальностью для дистанционного управления. В статье приведены математические выражения, которые оказывают влияние на энергетическое состояние радиолинии. Рассмотрены типы и варианты антенн, которые могут размещаться на платформах, объектах и обеспечивать задаваемые требования по коэффициенту усиления.

Научная новизна определяется глубиной обоснования и рассмотрения особенностей применения РТК в современных операциях и разработанными предложениями по повышению устойчивости управления и рекомендациями при выборе частотного диапазона, мощности передатчиков, антенн и их размещения на платформах и объектах.

ВВЕДЕНИЕ

Формирование современного облика Вооруженных Сил Российской Федерации требует технического оснащения видов и родов войск новейшими образцами вооружения и военной техни-

ки с максимально полной реализацией их потенциальных боевых возможностей и повышенным уровнем их боевой эффективности. Достижение данного уровня возможно за счет рациональной передачи функций по обработке информации и управлению исполнительными устройствами от

¹ Иванов Василий Геннадиевич, кандидат военных наук, доцент, председатель Военно-научного комитета Главного управления связи Вооруженных Сил Российской Федерации, Москва. E-mail: wasj2006@yandex.ru.

² Лукьянчик Валентин Николаевич, кандидат военных наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: v-lukyanchik@bk.ru

³ Поляков Дмитрий Николаевич, адъюнкт научно-исследовательского центра Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: bryanik51@mail.ru

экипажей к специальным автоматическим (автономным) средствам с частичным или полным выводом самих экипажей из зоны воздействия поражающих факторов. Наиболее перспективным путем решения указанной задачи является создание робототехнических комплексов военного назначения для видов вооружённых сил и родов войск. Главной целью создания системы робототехники является повышение эффективности выполнения задач обеспечения боевых действий и снижение потерь личного состава. Опыт локальных войн и вооружённых конфликтов последних лет свидетельствуют о стремительно возрастающей роли робототехнических комплексов военного назначения и, в первую очередь, комплексов наземного и воздушного применения, при подготовке и ведении военных действий, выполнении задач другими силовыми министерствами и ведомствами [1].

К настоящему времени сложилась определенная классификационная основа РТК ВН, включающая следующие классификационные признаки (рис. 1): среда функционирования, наличие средств движения, массогабаритные характеристики; дальность действия, целевое назначение; уровень организации управления.

РТК могут являться как самостоятельным средством ведения боевых действий, так и (или) дополнять традиционные виды оружия во всех формах и способах боевых и специальных действий при решении различных задач.

Внедрение РТК обеспечивает первое – уменьшение потерь личного состава и техники при выполнении боевых и высокорисковых задач; второе – повышение эффективности решения известных задач и появление возможности выполнения новых задач, недоступных для решения человеком в силу физиологических и интеллектуальных ограничений.

Современные роботизированные системы, комплексы и образцы ВВСТ создаются на основе информационных защищенных компьютерных и телекоммуникационных технологий, с соблюдением основных принципов построения сложных иерархических систем управления.

Следует отметить об интенсивности работ, проводимых в США по разработке и созданию РТК. Роботизация военной техники рассматривается одним из ведущих направлений развития средств вооруженной борьбы, и к 2030 году может достичь уровня 70 % от общего количества боевой техники американских вооружённых сил.

Робототехнические комплексы военного назначения					
КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ					
Среда функционирования	Наличие средств движения	Малогобаритные характеристики	Дальность действия	Целевое назначение	Уровень организации управления
<ul style="list-style-type: none"> • Наземные • Морские (подводные и надводные) • Воздушные 	<ul style="list-style-type: none"> • Мобильные (подвижные) • Стационарные (позиционные) 	<ul style="list-style-type: none"> • Микро • Мини • Легкие • Средние • Тяжелые 	<ul style="list-style-type: none"> • Ближнего радиуса действия • Малой дальности • Средней дальности • Большой дальности 	<ul style="list-style-type: none"> • Разведывательные • Боевые (ударные) • Многоцелевые • Обеспечивающие (инж., тылов. и др.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Дистанционное • Автономное • Интеллектуальное • Групповое

Рис. 1. Классификация робототехнических комплексов военного назначения

В аналогичном направлении формируется перспективный облик вооруженных сил всех передовых зарубежных стран [2].

Нельзя не отметить тот факт, что несмотря на то, что выделяемые ассигнования на роботизацию ВВТ ВС РФ в десятки раз меньше, чем в МО США, в России имеются существенные достижения в рассматриваемой научно-технологической сфере (области).

При создании робототехнических комплексов, необходимо учитывать мировой опыт создания и развития наземных РТК ВН, прежде всего основные направления развития безэкипажных и беспилотных систем (Unmanned Systems Roadmap) на 2007 - 2032 г.г., определяющие цели и направления создания робототех-

нических средств наземного, морского и воздушного базирования в США (табл. 1).

Данные направления 25-летнего плана ежегодно корректируются с учетом научно-технических достижений и изменений военно-политической обстановки и рассчитаны до 2035 года. При этом, в плане сформулированы основные положения по развитию функциональных параметров робототехнических средств (табл. 2).

В основе развития роботов просматривается комплекс мероприятий, направленных на создание адаптивных систем с возможностью ретрансляции сигналов и изменения своей конфигурации в зависимости от складывающейся обстановки и области применения [5].

Перспективные робототехнические ком-

Таблица 1 – Развитие наземных РТК по основным направлениям

Направления развития	Годы		
	2015–2020	2021–2030	2031–2035
Способ управления	По радиосвязи с использованием пульта управления	Зашифрованная голосовая и/или условными сигналами кистями рук	Разнообразные наборы звуковых, визуальных и других типов команд
Число взаимодействующих средств	Один робот с одним оператором	Несколько роботов с одним оператором	Взаимодействие групп роботов
Диапазон частот	Фиксированные в радиодиапазоне	Автоматическая смена частоты сигнала	Многочастотная, с изменением режима связи
Сложность задач	Определена оператором перед запуском аппарата на задание	Изменения не определены	Автономная настройка режима работы в зависимости от условий
Условия для работы	Ограничены внешней средой	Частично ограничены суровыми условиями	Не зависят от складывающейся обстановки
Заметность сигнала	Высокая	Средняя	Низкая
Продолжительность работы	Минуты	Часы	Дни
Возможности, состав аппаратуры	Датчики обеспечивают движение, обнаружение и частично распознавание объекта при прямой видимости	Обеспечение данными об обстановке за пределами прямой видимости	Обмен данными между всеми средствами, расширяется база данных во время операции
Маневренность	Несложные повороты, зависимость от наличия преград	Датчики способны обеспечивать данными о сложившейся обстановке без задержек	Автономное прогнозирование обстановки и оптимизация маршрута передвижения
Скорость, км/ч	30-50	80-200	200-300
Роль оператора	Дистанционное управление или контроль	Временный или периодический контроль	Запуск на задание; автоматизированная обработка данных
Условия работы	Необходима прямая видимость или прохождение радиосигнала	Допускается временное нарушение связи	Допускается отсутствие связи с оператором

Таблица 2 – Развитие функциональных параметров робототехнических средств всех типов

Параметры	Годы		
	2015–2020	2021–2030	2031–2035
Энергоснабжение	Аккумуляторные батареи	Аккумуляторные батареи	Источники энергии, преобразователи биомассы
Возможность функционировать в сложных условиях	Зависимость от условий	Аппаратура настраивается в соответствии с условиями	Погодные условия не влияют на работу техники
Способ излучения сигнала	Пассивный	Активный	Автоматизированная система маскировки
Структура протокола связи	Индивидуальная	Стандартная	Нестандартная
Система описания объектов	Простая	Сложная	Многоуровневая
Средства связи	Автоматизированная установка ретрансляторов	Изменения не определены	Высокоскоростная автоматизированная сеть
Частота связи	Фиксированная радиочастота	Расширенный диапазон со сменой частот	Настраиваемый режим связи
Распознавание человека	Возможно при неподвижном положении аппаратуры	В движении с задержкой на обработку сигналов	Распознавание биодатчиками без задержки
Взаимосвязь человека с роботом	Управление голосом	Управление голосом, жестами	-
Навигация	Дистанционно управляемая или автономная с ограничениями в ориентации в пространстве	Ограничения вызваны непреодолимыми препятствиями	Автоматизированный выбор маршрута без ограничений в ориентации в пространстве
Преодоление препятствий	Обнаружил-обошел	Прогноз движения объектов	-
Приводы устройств и механизмов	Электромеханические, гидравлические	Устройства из искусственных материалов	Гибридные биомеханические системы
Возможности манипулятора	Уступают возможностям человека	Не уступают возможностям человека	Значительно большие, чем у человека

плексы для информационного обмена и радиоуправления должны оснащаться новыми современными и перспективными цифровыми помехозащищенными радиосредствами, обеспечивающих их применение в сложных условиях обстановки.

Разработка и внедрение технологий военной робототехники является одним из приоритетных направлений создания новых и модернизации состоящих на вооружении образцов вооружения и военной техники. Роботизация вооружения и военной техники представляет собой комплекс взаимосвязанных военно-технических мер по освоению безлюдных военных технологий в целях придания нового качества образцам вооружения,

снижения боевых потерь среди военнослужащих и повышения эффективности ведения боевых действий. В большинстве развитых зарубежных стран ведутся широкомасштабные исследования в области создания робототехнических комплексов наземного, воздушного и морского базирования, развития базовых технологий и технических средств военной робототехники в направлении повышения надежности систем управления движением и вооружением, их автономности, дальности действия, помехозащищенности, решения проблем группового применения, в том числе совместно с экипажными образцами военной техники, безопасности применения.

Широкомасштабное внедрение роботов и технологий робототехники меняет способы ведения боя, операции и технический облик перспективных систем ВВТ, повышает эффективность их применения.

Создание робототехнических комплексов военного назначения требует существенной проработки наиболее важных технологий, необходимых для создания всей номенклатуры перспективных робототехнических средств. При этом типовой образец робота военного назначения может быть представлен в виде совокупности функционально связанных элементов [3]:

- базовый носитель – это могут быть шасси или корпус любой конфигурации, предназначенные для применения в различных средах;
- специализированное навесное (встраиваемое) оборудование в виде набора съемных модулей полезной (целевой) нагрузки;
- средства обеспечения и обслуживания, используемые при подготовке к применению и технической эксплуатации робота.

Состав специализированного оборудования устанавливается, исходя из функционального предназначения робота, и может включать:

- средства разведки;
- средства вооружения;
- навигационные устройства;
- специальное технологическое оборудование;
- средства телекоммуникации;
- специализированные вычислители с программно-алгоритмическим обеспечением;
- средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ).

Для обеспечения управления и обслуживания в состав комплекса дополнительно включаются:

- диспетчерский (наземный) пункт управления, контроля и обработки информации;
- средства доставки, транспортировки и запуска;
- средства снаряжения, заправки и зарядки;
- комплект ЗИП.

Такое представление типового робота позволяет выделить технологии критичные для разработки перечисленных элементов. Критические технологии робототехники можно декомпозировать на «основные», т.е. разрабатываемые непосредственно для робототехнических комплексов, и вспомогательные – разрабатываемые для

широкой номенклатуры образцов вооружения и имеющие перспективу применения при создании роботов военного назначения.

К основным могут быть отнесены следующие технологии систем:

- обработки сенсорной информации, оценки ситуации и планирования поведения;
- автоматического наведения и управления оружием;
- дистанционного и автономного управления движением;
- автоматического распознавания образов (целей), анализа ситуаций и динамических сцен;
- искусственного интеллекта и обучения;
- интеллектуальных систем группового управления.

К числу вспомогательных можно отнести технологии:

- автоматизированного управления;
- создания и функционирования новых перспективных конструкций;
- энергообеспечения;
- создания и применения новых материалов и веществ;
- геоинформационные и точного глобального позиционирования;
- создания оптических и оптико-электронных средств.

Наличие таких технологий способствует обеспечению необходимой степени автономности и интеллектуальности наземных робототехнических средств, БПЛА и автономных морских аппаратов. В разрабатываемых перспективных роботах устанавливаются самообучающиеся системы с искусственным интеллектом, в которых будут соединены возможности самых передовых технологий в области навигации, визуального распознавания объектов искусственного интеллекта, вооружения, независимых источников питания, маскировки и др. Такие боевые системы будут значительно опережать человека в скорости распознавания окружающей среды (в любой сфере), а также в скорости и точности реагирования на изменения обстановки [4].

ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Каждый роботизированный образец с учетом его места в боевых порядках и конкрет-

ного назначения по уровню своей применимости, подвижности, автономности, живучести и других характеристик должен быть готов к совместному использованию в составе подразделений с существующими и перспективными образцами вооружения и техники и не ограничивать при этом их боеготовности, боевых и маршевых возможностей.

Особое внимание при разработке комплексов оборудования для РТК уделяется установке его на перспективные унифицированные боевые платформы с целью их применения в режиме как дистанционного управления, так и в автоматизированном (автоматическом) на основе программного обеспечения.

Разработка, а в дальнейшем и применение роботизированных средств с высокой степенью автономности, зависит, прежде всего, от возможности создания автоматизированных системы с автоматическим вождением в условиях

различных сред на местности в составе воинских подразделений. На рисунке 2 приведена обобщенная схема системы автономного управления движением (САУД) РТК, которая поясняет смысл технологии дооснащения системы дистанционного управления до уровня полуавтономного и автономного управления. Это потребует решения бортовыми средствами ряда сложных научно-технологических задач. Один из основных принципов создания таких систем – сохранение преемственности отработанных технических решений и использование автономных робототехнических комплексов на базе дистанционно-управляемых.

Важнейшей составляющей РТК является система технического зрения (СТЗ). В подавляющем большинстве случаев СТЗ передает телевизионные (тепловизионные) изображения среды функционирования при перемещении РТК на местности при выполнении различного рода задач.



Рис. 2. Обобщенная структурная схема САУД РТК

Кроме того, для эффективного управления РТК в особо сложных условиях функционирования (ведения боя) необходимы осмотр определённой зоны местности с различных позиций, возможность знания ее географических и климатических значений, координат (района позиционирования) расположения как самого РТК, так и объектов, по которым проводится выполнение боевых задач (средства противника, зачистка и обработка местности и другие).

Это вызывает потребность создания новых форм и технических средств информационного обеспечения, предоставляющих оператору не только телевизионную и телеметрическую информацию о местоположении и значимости РТК в текущий момент времени, но и подробную информацию о параметрах окружающей среды с наложением на них результатов обнаружения целевых объектов и их распознавания в зоне действия. Такая информация должна предоставляться оператору в форме, обеспечивающей трехмерное моделирование объектов в зоне его действий с возможностью оперативного расчета и планирования действий в условиях недетерминированной обстановки. Полученная информация должна использоваться в бортовом вычислительном комплексе для обеспечения высокоточной навигации и позиционирования мобильного РТК при его автономном перемещении и выполнении сложных технологических операций (задач) в труднодоступных местах, при движении по сложной пересеченной местности с возможной привязкой к спутниковым навигационным системам.

Ряд научно-исследовательских работ в области роботизации Сухопутных войск завершён созданием действующих экспериментальных образцов и РТК поступающих на снабжение различных родов войск.

В СВО эффективно применяются РТК «Курьер», «Утёс», «Уран-4», «Уран-6», «Скорпион-М», «Станкер», установленные на колесные шасси и гусеничные, которые выполняют функции разминирования, ударных с пулемётной установкой, доставки боеприпасов штурмовым группам, действующим в отрыве от основных сил.

Применение наземных РТК позволило изменить тактику действия наших войск. Выдвижение в 1-ом эшелоне РТК вынуждает противника открывать огонь, в результате чего средствами наблюдения и разведки обнаруживаются огневые точки, по которым наносится ракетно-артиллерийский удар, а затем обеспечиваются действия войск.

Особое внимание уделяется разработке

комплектов оборудования для установки на перспективные унифицированные боевые платформы с целью их применения в режиме дистанционного управления.

Одним из ключевых элементов развития РТК является разработка перспективных систем управления военного назначения, аппаратно ориентированных на работу в условиях неполноты или нечеткости исходной информации, неопределенности внешних воздействий и среды функционирования, что требует привлечения нетривиальных подходов к управлению и использованию технологий искусственного интеллекта. Очевидно, что при наличии различного рода неопределенностей при случайном характере внешних воздействий, к которым можно отнести непредусмотренное изменение фоноцелевой обстановки, собственных эксплуатационных характеристик объекта управления и параметров среды, высокий уровень автономности, адаптивности и надежности систем управления должен обеспечиваться за счет повышения их интеллектуальных возможностей.

На основании проводимых исследований в области применения РТК приведён ряд общих технических требований к системам управления робототехнических комплексов военного назначения.

К ним относятся:

- построение системы управления по распределённому принципу с использованием как универсальных, так и специализированных вычислительных средств;
- возможность работы в ручном и автоматизированном режимах работы;
- обеспечение управления в сложных физико-географических условиях;
- высокая эксплуатационная надёжность, стойкость к воздействию внешних факторов и ремонтпригодность;
- возможность управления РТК в составе смешанной (роем) группы;
- помехоустойчивость;
- использование мощной бортовой вычислительной системы, способной как производить универсальные алгоритмические вычисления, так и обрабатывать большие параллельные информационные потоки;
- применение многоканальной системы локальной навигации;
- наличие многоспектральной системы технического зрения, способной работать в услови-

ях пониженной освещенности и сложных метеорологических условиях;

- наличие высокоскоростных, помехозащищенных каналов связи и управления;
- высокая нагрузочная способность силовых элементов управления;
- использование в системе компонентов, отвечающих жестким требованиям по условиям применения в соответствии с требованиями военных стандартов.

Высокие требования предъявляются к информационным каналам и каналам передачи сигналов управления, в том числе к скорости передачи информации, помехозащищенности, криптостойкости, дальности устойчивой связи на пересеченной местности и другие.

Для управления РТК возможно централизованное и децентрализованное управление, автономное и автоматизированное, а также смешанное (комбинированное), которое организуется в зависимости от их боевого применения.

Для действий одиночных РТК в основном применяется централизованное управление, когда управляющий орган обеспечивает движение (полет) и сопровождение РТК (наземного, воздушного и морского) в зоне боевых действий для ведения разведки и нанесения ударов [5].

Особенностью автономных СУ является то, что сигналы управления движением вырабатываются аппаратурой, целиком расположенной на борту, причем эта аппаратура после запуска не получает никакой информации из пункта управления. Автономные СУ действуют по заранее определенной программе (на примере РТК – БПЛА)

При использовании автономных систем существует два метода получения управляющих сигналов. Первый вариант является характерным при применении БПЛА-ударного дрона «Ланцет-М» в СВО, который после запуска (старта) и набора высоты совершает полёт в горизонтальной плоскости при дистанционном управлении оператором (НПУ), а на заключительном этапе в автономном режиме по установленной программе на основе ГИС определяет цель и наносит удар. В программе заложены изменения по времени основных параметров движения БПЛА (скорость, высота, угол и т.д.), определяющие траекторию движения. Полученные функции времени вводятся в специальные устройства СУ в качестве заданных величин или программ с использованием ГИС. После старта в процессе полета БПЛА соответствующими устройства-

ми непрерывно изменяются текущие (действительные) значения указанных параметров. СУ осуществляет сравнение расчетных значений параметров с текущими значениями и при их неравенстве вырабатывает соответствующие сигналы управления. Если на БПЛА установлена аппаратура (датчики, устройства сканирования, камеры), позволяющая вести непрерывное измерение её координат в пространстве, то автономное управление можно осуществить по-другому. Координаты, получаемые от аппаратуры, автоматически вводятся в бортовое вычислительное устройство, которое в соответствии с заранее заложённой программой вычисляет величину сигналов управления. Следовательно, заранее не задается определенная траектория, а каждый раз вычисляется в зависимости от текущих координат. При этом предполагается, что координаты объекта предварительно заложены в вычислительное устройство. На работу таких СУ не оказывают влияние искусственно создаваемые помехи. Это основное их достоинство. Кроме того, эти системы можно применять для управления БПЛА с большой дальностью полета в сложной помеховой обстановке [6]. Каждая из этих моделей имеет свои преимущества и может быть предпочтительной в зависимости от ситуации.

Централизованное управление позволяют рою принимать оптимальное или, по крайней мере, «достаточно хорошее», решение быстрее, но требует более высокой пропускной способности для передачи данных центральному источнику, который затем их доводит инструкции (данные) рою.

Однако централизованное управление не всегда является оптимальным, даже если существуют возможности для высокой пропускной способности, так как подробные планы и чрезмерно специфическое управление могут оказаться неустойчивыми в быстро меняющейся среде поля боя. Децентрализованное управление – через локализованных «командиров отделений», механизмы голосования на основе консенсуса или эмерджентную координацию имеет преимущество проталкивать принятие решений непосредственно на поле боя. Это может как ускорить скорость немедленной реакции, так и сделать рой более устойчивым к некоторым перерывам связи.

Основными областями применения роботизированных образцов военной техники Сухопутных войск РФ, обеспечивающих решение различных задач боевого, технического и тылового обеспечения являются:

Роевые модели командования и контроля

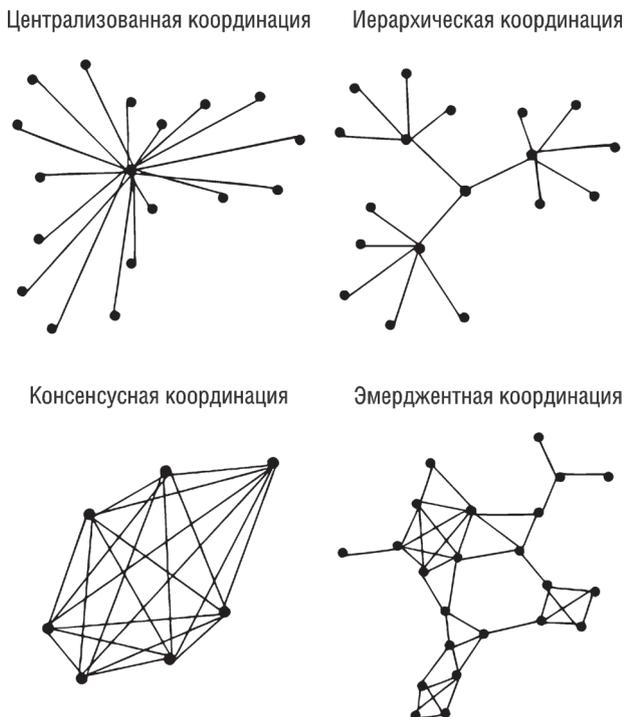


Рис. 3. Роевые модели построения системы управления РТК

- прорыв заранее подготовленной обороны противника;
- обеспечение оборонительных действий тактических формирований путем создания системы роботизированных огневых точек в полосе прикрытия подразделений для ведения борьбы с живой силой и бронированными целями противника;
- обеспечение огневой поддержки наступающих частей и подразделений и подавление огневой противодействия за счет применения мобильных робототехнических комплексов, оснащенных автоматическим оружием и противотанковыми средствами;
- подавление огневой противодействия роботами с автоматическим оружием и противотанковыми средствами;
- артиллерийская разведка и обслуживание стрельбы наземной артиллерии;
- ликвидация нештатных ситуаций с опасными в обращении боеприпасами, обезвреживание взрывоопасных предметов;
- проведение аварийно-восстановительных работ на базах, арсеналах и в особых условиях;
- эвакуация с поля боя или с места аварии пострадавшего личного состава, поврежденной

техники под огнем противника или в условиях заражения местности;

- инженерная разведка, минирование, разминирование, проделывание проходов в минно-взрывных заграждениях и обеспечение преодоления прочих заграждений при ведении боевых действий;
- радиационная, химическая и биологическая разведка на зараженных территориях;
- постановка дымовых завес в зоне огневой воздействия противника;
- доставка боеприпасов и ГСМ подразделениям, находящимся в зоне огневой воздействия противника;
- охрана и оборона позиционных и приграничных районов, мест дислокации частей и подразделений, войсковых объектов, горных перевалов и перекрестков дорог.

При выполнении задач в составе группировки войск в соответствии с предназначением на РТК будут воздействовать различные факторы, которые могут оказать существенное влияние на эффективность его применения. Они должны учитываться при задании требований к РТК.

При групповом применении РТК в операции и бою в условиях организованного противодействия противника возникают проблемы организационного и технического характера, основной которых является отсутствие четких алгоритмов управления группой РТК, выполняющих задачи в одной или разных зонах их нахождения.

В настоящее время рассматривается два основных направления решения задачи управления группой наземных РТК. Первое предусматривает заблаговременную выработку автоматизированной системой управления последовательности действий всех роботов группы, второе – отыскание приемлемой последовательности и ее реализация в процессе выполнения задачи.

Исходя из указанных направлений, прогнозируется поэтапное расширение возможностей систем управления группами комплексов, а также их усложнение при одновременном сокращении числа, привлекаемого для обслуживания дистанционно управляемых средств и личного состава (операторов).

В настоящее время (на 1-м этапе) подавляющее число таких систем предназначено для управления одиночными образцами РТК как со стационарных, так и подвижных пунктов управления. Связь оператора с роботом осуществляется по проводным линиям либо с использованием

радиоканала. Прием и обработку управляющего сигнала, а также последующее управление исполнительными приборами осуществляет бортовой вычислительный комплекс.

На последующих этапах (2025 – 2035 года) планируется разработка программного обеспечения и аппаратных средств системы управления группой РТК с одного ПУ. В значительной степени этот процесс стимулируется очередным этапом миниатюризации электронно-вычислительных устройств, позволяющих существенно расширить интеллектуальные возможности РТК.

Создание современных робототехнических комплексов, унифицированных систем управления приведёт к расширению возможностей их применения, что в свою очередь, обеспечит возможность децентрализованных действий соединений и частей на оперативно-тактическом и тактическом уровне на основе оценки текущей обстановки при реализации общего стратегического замысла.

В основу системы управления должны быть заложены алгоритмы, позволяющие обрабатывать и обобщать информацию от разнородных средств, а также решать задачи обеспечения каналов обмена данными с необходимой пропускной способностью, помехозащищённостью и надёжностью [7].

Для РТК характерным является актуальным интерактивное управление в условиях изменяющихся параметров и неконтролируемых внешних воздействий. В интерактивных робототехнических системах целесообразно использовать двухуровневую систему управления РТК. Верхний уровень представляет собой интеллектуальную робототехническую систему по формированию команд оператора, а нижний выполняет функции исполнительный системы адаптивного управления, обеспечивающей решение задач при действии случайных факторов, не учтенных на этапе планирования и отклоняющих движение от заданного в условиях реальной обстановки.

Если на верхнем уровне используются обобщенные понятия, оценки и правила, то на нижнем используется более точная информация, получаемая с помощью соответствующих датчиков. Организация верхнего уровня управления целесообразна на базе нечетких отношений и нечеткой логики. Это дает возможность оператору (человеку) ставить задачу РТК с использованием лингвистических переменных. Для решения задачи автономного адаптивного управления манипуляционным механизмом мобильного РТК может быть использована система управления, состоящая из системы визуального контроля и системы

управления движением. Для «захвата» изображения рабочей зоны используется WEB-камера, связанная с системой анализа изображений, представляющей собой комплекс программных и аппаратных средств. Система анализа изображений обрабатывает поток, поступающий с цифровой видеокамеры, и преобразует его в набор параметров, на основе которых система управления движением формирует управляющие воздействия исполнительным механизмам робота.

В процессе работы робототехнический комплекс находится под воздействием переменных возмущающих воздействий, параметры элементов объекты являются нестационарными, при этом не все координаты вектора состояния комплекса возможно измерить и определить внешние возмущения. Поэтому одним из подходов, позволяющие обеспечить требуемое качество управления движением в условиях неопределенности воздействий и параметров, является применение интеллектуальных систем.

Интерактивная система управления роботом выполняет следующие функции:

- задание траектории (прямолинейной или криволинейной) движения робота;
- определение расстояния от базовой точки и контроль положения;
- выдачу информации на экран монитора;
- обработку сигналов посредством лазерного канала связи.

Прием и передача данных при дистанционном управлении осуществляется посредством модуляции-демодуляции лазерного луча, кодирования-декодирования и последующей программной обработки в диалоговом или автоматическом режимах.

Процесс управления РТК следует рассматривать в виде единой конструктивно развивающейся системы, комплекса работ по автоматизированному управлению, который выполняется должностными лицами управления (так называемых агентов управления) и (программно-аппаратных агентов), ведущихся на основе гибкого сочетания двух режимов работы: автоматического, при котором варианты решений формируются в результате работы программных агентов, и автоматизированного, при котором варианты решений формируются в результате интерактивного взаимодействия агентов – должностных лиц.

Важно отметить, что все критерии, на основе которых в системе управления происходят процессы принятия решений, являются конфигурируемыми параметрами сети как в момент пла-

нирования применения РТК, так и в момент его боевого применения в соответствии с изменениями динамики решаемых задач.

Из-за динамического характера задач управления, их высокой размерности, сложности формирования полной системы показателей эффективности самой системы управления (из-за корреляции и нечеткого характера многих из них), неполноты и недостоверности контрольной информации целесообразно для одновременно-го обеспечения высокой функциональной гибкости и быстродействия подсистемы связи РТК использовать нечеткие нейронные сети, использующие нечеткое описание управляемого процесса и системы его управления в виде нечеткой базы знаний, а также преобразующей нечеткое описание в последовательность команд, для достижения целей управления.

Особенностями предлагаемой схемы нечеткой системы управления является: учёт последовательности цикла управления: оценка ситуации, определение цели управления, выявление необходимости управления, поиск допустимых значений и способа достижения поставленной цели и реализации выбранного способа достижения цели.

Сочетание технологии искусственного интеллекта в составе двух независимых теорий – нейронных сетей и нечёткой логики позволит оптимизировать процесс управления робототехническим комплексом путём учёта сложившейся ситуации (по анализу и распознаванию обстановки, целесообразности поведения и другим свойствам), а также требований к системе управления по устойчивости и непрерывности при передаче определённого типа трафика по линиям дистанционного управления.

Для устойчивого управления РТК важное значение отводится устойчивости связи по каналам управления и информационному (при их разнесении).

Для управления РТК оператором с НПУ наиболее приемлемыми являются спутниковая связь и радио в УКВ диапазоне частот. Спутниковая связь позволяет организовать передачу данных на значительные расстояния (более 1000 км), однако, проигрывает УКВ связи по скорости и зависит от наличия свободного ресурса спутниковой системы. Поэтому оптимальным вариантом для управления является использование УКВ каналов

Главным ограничивающим фактором использования УКВ диапазона является дальность прямой радиовидимости между РТК и НПУ, кото-

рая рассчитывается как:

$$D = 4,12(\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}), \quad (1)$$

где D – дальность прямой видимости, км;

H_1 – высота первой антенны, м;

H_2 – высота второй антенны, м.

Из полученной зависимости видно, что с учетом ограничений по прямой видимости, возможно организовать УКВ канал связи «РТК – НПУ», как непосредственно, так и путём развёртывания ретрансляторов связи (наземных или воздушных).

При организации связи на больших расстояниях одним из факторов, влияющим на качество, является затухание сигнала на трассе, которое зависит от частоты сигнала, дальности, потери сигнала на трассе. Для компенсации ослабления сигнала можно использовать различные способы, в том числе повышение коэффициента усиления антенн (главным образом, наземной), использование энергетически выгодных видов модуляции, повышение выходной мощности.

Энергетический потенциал линии связи может быть рассчитан исходя из следующего выражения:

$$E = P_{mpd} - L_{kpd} + G_{apd} - L_{kkm} + G_{apd} - P_{spm}, \quad (2)$$

где E – энергетический потенциал линии связи, дБ;

P_{mpd} – выходная мощность передатчика, дБм;

L_{kpd} – потери в кабеле и антенне передатчика, дБ;

G_{apd} – усиление антенны передатчика, дБи;

L_{kkm} – потери в кабеле и антенне приемника, дБ;

G_{apd} – усиление антенны приемника, дБи;

P_{spm} – уровень теплового шума на входе приемника, дБм.

Анализ выражения (2) показывает, что основными факторами, влияющими на энергетический потенциал линии связи являются направленные свойства антенн, мощность передатчика и чувствительность приемника (тепловой шум). Ограничения на массогабаритные характеристики аппаратуры РТК не позволяют разместить на борту крупно апертурную антенну, обеспечивающую высокий коэффициент усиления, и мощное приемо-передающее устройство. Что касается аппаратуры НПУ, то в мобильном варианте возможно размещение на автомобильной платформе параболической антенны диаметром 1–3 м, обеспечивающей усиление порядка 14–25 дБи (для частоты сигнала 600 МГц), и передающе-

го устройства с выходной мощностью порядка 45 дБм [6].

Для обеспечения требуемого уровня усиления бортовой антенны возможно использование многоэлементной антенной решетки с управляемой диаграммой направленности; нескольких переключаемых антенн; параболической антенны на опорно-поворотном устройстве.

Преимуществом антенной решетки является возможность электронного сканирования по азимуту и углу места. Применение активных фазированных антенных решеток при 64 элементах с шириной диаграммы направленности 10° обеспечит коэффициент усиления порядка 25 дБм в диапазоне 390 – 645 МГц.

Использование нескольких переключаемых антенн с узкой диаграммой направленности позволяет обеспечить связь в любом направлении. Так, если антенна имеет ширину диаграммы направленности 60° , тогда равномерное размещение вокруг корпуса РТК 6 таких антенн обеспечит обзор на 360° .

Преимуществом такого варианта является возможность использования единого приемо-передающего модуля, который с использованием коммутатора, будет переключаться на нужную антенну в зависимости от требуемого направления приема/передачи. К недостаткам можно отнести более высокие потери в коммутирующем устройстве и возможные разрывы в передаче данных, обусловленные переключением антенн.

Установка параболической антенны на опорно-поворотном устройстве позволяет использовать одну антенну для непрерывного слежения за НПУ и обеспечивать непрерывную связь. Ориентация поворотной платформы в пространстве может вычисляться с использованием бортовых вычислительных средств и собственной навигационной информации.

Для управления РТК важное значение имеет состояние канала связи, которое в значительной степени определяется выбором установленного средства радиосвязи (радиостанции) и его частотным диапазоном.

Выбор рабочего частотного диапазона радиоканала связи обуславливается несколькими факторами:

- 1) требованиями к массе, габаритам и потреблению приемопередающего устройства БПЛА;
- 2) необходимой дальностью работы при заданной вероятности битовой ошибки;
- 3) требуемой пропускной способностью;

4) степенью (уровнем) загруженности его другими силовыми структурами;

5) возможностью получения лицензии на работу в необходимом диапазоне или возможностью безлицензионной работы.

Целесообразным является выбор диапазона сверхвысоких частот (СВЧ) с применением расширяющих спектр методов (прямое расширение спектра, расширение спектра методом псевдослучайной перестройки несущей частоты). Это позволит создать антенну малых размеров, способную разместиться в профиле крыла или фюзеляже [7].

Для обеспечения максимальной дальности связи необходимо использовать энергетически наиболее выгодные виды модуляции – такие как двоичная фазовая манипуляция (BPSK) и квадратурная фазовая манипуляция (QPSK). При равной энергетической эффективности этих видов модуляции QPSK в два раза спектрально эффективнее, чем BPSK (без учета межсимвольной интерференции). В общем случае, в условиях ограниченной полосы частот, наиболее эффективным методом модуляции является квадратурная амплитудная манипуляция, которая в большинстве случаев более эффективна, чем различные виды частотной. Кроме того, канал связи должен обеспечить передачу данных с заданной скоростью и вероятностью ошибки при больших расстояниях между РТК и НПУ.

Для наземных РТК необходимо учитывать влияние многолучёвости с учётом возможных препятствий (рельеф местности), диаграмму направленности, коэффициент усиления антенны.

Перспективная система связи для управления РТК должна реализовываться на уровне обработки сигнала как программно-определяемая радиосистема, позволяющая в зависимости от условий прохождения сигнала на трассе НПУ-РТК адаптивно изменять виды модуляции, выходную мощность передатчика, виды канального кодирования сигнала, параметры расширения спектра сигнала, скорость передачи данных, соотношение времени передачи и приема для полудуплексных каналов связи, параметры шифрования передаваемых данных.

Создание перспективной системы управления РТК на основе технологий искусственного интеллекта ориентированной на работу в условиях неопределённости внешних воздействий, среды функционирования и динамичности выполняемых задач позволит обеспечить устойчивое управление роботами и эффективное исполь-

зование боевых возможностей по предназначению. Оснащение средствами искусственного интеллекта РТК и НПУ, объединение их ЭВМ в сети (на сетевом уровне) на основе межвидового информационного обмена будет способствовать эффективному применению РТК в зоне боевых действий, сокращению времени на принятие решения и обеспечения взаимодействия операторов ведущих разведку РТК-(БПЛА) и операторов ударных дронов.

Дальнейшее развитие автоматизированной систем межвидового информационного обмена приведёт к значительному сокращению времени от начала обнаружения целей разведывательными РТК до их поражения ударными, сокращению времени по доставке боеприпасов, эффективному применению РТК по минированию и разминированию местности РТК.

В заключении необходимо отметить, что управление РТК представляет сложный процесс, включающий действия оператора и поведение РТК, находящегося в движении, которое может быть непредсказуемым, так оно зависит от внутренних факторов и различного характера внешних воздействий – для наземных РТК одни, для воздушных (БПЛА-дроны), другие. Вследствие этого появляются особенности и в организации связи,

связанные с конструктивами антенн устройств, диапазона частот управления, мощности передатчика и другие. Важно также учитывать конструкцию самого РТК-несущую платформу. В период проведения СВО создание современных и перспективных РТК получило определяющее развитие.

ВЫВОДЫ

В статье на основе ведения современных операций рассмотрена необходимость применения робототехнических комплексов различного назначения. С учётом возможного применения роботов обоснованы различные варианты управления и направления совершенствования по мере развития технологического процесса, комплексов, средств связи и автоматизации. Значительное внимание уделено обоснованию и выбору радиоканала для дистанционного управления робототехническим комплексом с учетом того, что они могут быть наземными, воздушными и морскими. При этом необходимо учитывать особенности распространения радиоволн, которые оказывают существенное влияние на дальность связи. Рассмотрен и такой фактор, как выбор и установка антенн на платформах РТК и НПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савин Л.В. Вариант будущей войны: роение боевых роботов // Стратегическая стабильность. 2017. №1 (78). С. 23 -27,
2. Баталии Е.В. Создание в США оружия на новых физических принципах // Военное обозрение. 2015. № 6. С.31 -344,
3. Кондратьев А.Е. Боевые роботы США – под водой, в небесах и на суше // Независимое военное обозрение. URL: http://nvo.ng.ru/armament/2010-05-14/8_robots.html. (обращение 10.06.2024)
4. Верба В.С., Татарский Б.Г. Комплексы с БПЛА. Принципы построения и особенности применения комплексов с БПЛА. Книга 1. / М. Издательство «Радиотехника». 2017. 102 с.
5. Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами: сб. докл. и ст. по мат. II научно- практической конф. / под общей ред. А.С. Бодрова, С.И. Безденежных. Коломна: 924 ГЦ БпЛА МО РФ, 2017.С. 56 - 61
6. Полянский И.С., Архипов Н.С., Мисюрин С.Ю. О решении проблемы оптимального управления адаптивной многолучевой зеркальной антенной // Автоматика и телемеханика. 2019. № 1. С. 83–100.
7. Лукьянчик В.Н., Васильева Т.Г., Селезнёв А.В. Повышение эффективности боевого применения, управления БПЛА в вооружённых конфликтах (современных операций) // Материалы Всероссийской научно-практической конференции / Сборник статей. Серпухов. 2023. С.46 -49.
8. Гудков М.А., Иванов В.Г., Лукьянчик В.Н., Васильева Т.Г. Подготовка в вузе специалистов связи по применению дронов // Военное образование. 2024. №2. С.65 - 70

IMPROVING THE STABILITY OF CONTROL AND COMMUNICATION OF MILITARY ROBOTIC SYSTEMS IN MODERN OPERATIONS

Ivanov V. G. ¹, Lukyanchik V. N. ², Polyakov D. N. ³

Keywords: communication channel, frequency range, control, military operations, robots, system, networks, automation, operator.

Objective. To develop (substantiate) proposals that contribute to the effective use of robotic systems when used together with conventional weapons in combat and operations, based on technical solutions in the field of control and communication.

Research method. Analytical with the use of mathematical apparatus to determine the range of direct radio visibility between the robotic complex and the ground control station depending on the height of the antennas and the increase in the energy potential of the radio link.

The result of research in the field of application and control of robotic systems based on the experience of the NWO in supporting troops in combat and operations in all types of tasks: defense, offensive, storm operations, counter-battery warfare (war) and others. The article formulates (defines) a list of general technical requirements for the control system of robotic complexes (RCS), which include a set of measures (tasks) of both organizational plan and technical solutions. Actually, they were fundamental in the substantiation, selection and adoption of the RTK control system, which ensures the effective combat use of the complex. In addition, the article considers the control of both single RTKs and as part of a swarm centralized control will be combined with decentralized, since in one flock there may be (in relation to UAVs) reconnaissance, strike vehicles and electronic warfare.

For stable control of the RTK, it is necessary to have a communication channel, which must have noise immunity, appropriate bandwidth and range for remote control. The article presents mathematical expressions that affect the energy state of a radio link. The types and options of antennas that can be placed on platforms, objects and meet the specified requirements for the gain factor are considered.

The scientific novelty is determined by the depth of substantiation and consideration of the features of the use of RTS in modern operations and the developed proposals for improving the stability of control and recommendations for the selection of the frequency range, the power of transmitters, antennas and their placement on platforms and objects.

REFERENCES

1. Savin L.V. Variant budushhej vojny: roenie boevyh robotov // Strategicheskaja stabil'nost'. 2017. №1 (78). S. 23 -27
2. Batalii E.V. Sozdanie v SShA oruzhija na novyh fizicheskikh principah // Voennoe obozrenie. 2015. № 6. S.31 -344,
3. Kondrat'ev A.E. Boevye roboty SShA – pod vodoj, v nebesah i na sushe // Nezavisimoe voennoe obozrenie. URL: http://nvo.ng.ru/armament/2010-05-14/8_robots.html. (obrashhenie 10.06.2024)
4. Verba V.S., Tatarskij B.G. Kompleksy s BPLA. Principy postroenija i osobennosti primenenija kompleksov s BPLA. Kniga 1. / M. Izdatel'stvo «Radiotekhnika». 2017. 102 s.
5. Perspektivy razvitiija i primenenija kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami: sb. dokl. i st. po mat. II nauchno- prakticheskoi konf. / pod obshhej red. A.S. Bodrova, S.I. Bezdeneznyh. Kolomna: 924 GC BpLA MO RF, 2017.S. 56 - 61
6. Poljanskij I.S., Arhipov N.S., Misjurin S.Ju. O reshenii problemy optimal'nogo upravlenija adaptivnoj mnogoluchevoj zerkal'noj antennoj // Avtomatika i telemekhanika. 2019. № 1. S. 83–100.
7. Luk'janchuk V.N., Vasil'eva T.G., Seleznjov A.V. Povyshenie jeffektivnosti boevogo primenenija, upravlenija BPLA v vooruzhjonnyh konfliktah (sovremennyh operacij) // Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii / Sbornik statej. Serpuhov. 2023. S.46 -49.
8. Gudkov M.A., Ivanov V.G., Luk'janchuk V.N., Vasil'eva T.G. Podgotovka v vuze specialistov svjazi po primeneniju dronov // Voennoe obrazovanie. 2024. №2. S.65 - 70 ■

¹ Vasily G. Ivanov, Ph.D.(of Military), Associate Professor, Chairman of the Military Scientific Committee of the Main Directorate of Communications of the Armed Forces of the Russian Federation, Moscow. E-mail: wasj2006@yandex.ru.

² Valentin N. Lukyanchik, Ph.D.(of Military), Associate Professor, Senior Researcher at the Research Center of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: v-lukyanchik@bk.ru

³ Dmitry N. Polyakov, Adjunct of the Research Center of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: bryanik51@mail. ru

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ

Бречко А.А.¹, Филин А.В.²

Ключевые слова: транспортная сеть связи, управление развитием, качество инфокоммуникационных услуг, инфокоммуникационный ресурс, имитационное моделирование, тестирование инфокоммуникационных систем, построение инфокоммуникационных систем.

Цель исследования: повышение своевременности предоставления объектами инфокоммуникационной инфраструктуры услуг с заданным качеством при изменении состава обслуживаемых потребителей.

Метод исследования: использовались методы анализа, синтеза, теории графов, теории моделирования, теории распознавания образов, метод морфологического анализа.

Результат исследования является техническое решение (способ), направленное на повышение своевременности предоставления услуг с заданным качеством. Решение включает моделирование существующего объекта инфокоммуникационной инфраструктуры, имитацию функционирования изменившегося состава потребителей, оценку качества предоставляемых потребителям услуг. На основании результатов моделирования и оценки качества осуществляется определение недостающего телекоммуникационного ресурса. После чего синтезируется облик технической системы с учетом уже существующей инфокоммуникационной инфраструктуры, при этом поиск оптимального решения осуществляется методом морфологического анализа, а критериями качества синтезируемой системы является выполнение требований нового состава потребителей и минимум вносимых изменений в нее. Оценка степени внесения изменений осуществляется методами теории распознавания образов путем вычисления расстояния между различными вариантами в пространстве их признаков. За счет чего минимизируется время предоставления услуг с заданным качеством.

Научная новизна состоит в модификации методического подхода к обеспечению потребителей инфокоммуникационными услугами, лежащего в основе разработанного технического решения, а также адаптации формулы Рассела и Рао.

ВВЕДЕНИЕ

Подход к построению объектов инфокоммуникационной инфраструктуры, описанный в экономических, технических и нормативно-правовых источниках, заключается в создании экономически эффективного объекта (системы), технические и функциональные требования к которому формируются исходя из эвристической оценки потребностей потенциальных потребителей (абонентов), их количества и пространственного расположения [1, 2]. Изменение количества и пространственного расположения одиночных потребителей (абонентов) прогнозируемо и учитывается при синтезе объекта, однако, в случае размещения в районе функционирования объекта инфокоммуникационной инфраструктуры, отвечающего требованиям экономической эффективности, нового крупного потребителя (системы управления) влечет за собой снижение качества

предоставляемых услуг всем обслуживаемым потребителям [3]. При этом построение нового объекта инфраструктуры ввиду высокой длительности процесса не позволяет своевременно предоставить требуемые услуги с заданным качеством для изменившегося состава потребителей. Анализ известного научно-методического и научно-технического обеспечения [4-10] показал его направленность на синтез новых систем под заданные требования, при этом существующие технические решения также реализуют указанный подход.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Авторами предложено новое техническое решение (способ), направленное на повышение своевременности предоставления объектами инфокоммуникационной инфраструктуры услуг с заданным качеством при увеличении количества

¹ Бречко Александр Александрович, кандидат технических наук, докторант Военной академии связи им. С.М. Буденного, Санкт-Петербург, E-mail: alexanderbrechko@yandex.ru.

² Филин Андрей Викторович, Заместитель начальника отдела Главного управления связи Вооруженных Сил Российской Федерации, Москва, E-mail: fi1y@mail.ru.

обслуживаемых систем управления. Эффект достигается за счет трансформации и использования существующей инфокоммуникационной инфраструктуры.

Техническое решение представлено последовательностью действий, отображенных в блок-схеме (рис. 1).

В блоке 1 (рис. 1) осуществляется инициация исходных данных: состав и структура существующей транспортной сети (T), исходное множество обслуживаемых систем управления (C_0) и множество дополнительных систем управления (C_n), координаты размещения их элементов в топологии сети и требования к качеству услуг.

Структура транспортной сети задается графом или матрицей связности.

В случае задания транспортной сети матрицей, количество строк и столбцов соответствует количеству узлов связи, а каждая строка и каждый столбец соответствует определенному узлу связи.

Если между двумя узлами транспортной сети существует линия связи, то в матрице на пересечении строки и столбца, соответствующих этим узлам, ставится единица.

Также может быть осуществлена декомпозиция матрицы связности по параметрам транспортной сети, например, на пересечениях строк и столбцов могут указываться значения показателей, характеризующих связи между соответствующими узлами, например, значения пропускной способности.

Например, пусть T – транспортная сеть, а $\{t_1, t_2, \dots, t_N\}$ – множество узлов этой сети. Тогда общий вид матрицы связности, описывающей структуру транспортной сети и пропускную способность каналов связи представлена ниже:

$$T = \begin{pmatrix} - & ПС_{1,2} & ПС_{1,3} & \dots & ПС_{1,N} \\ ПС_{2,1} & - & ПС_{2,3} & \dots & ПС_{2,N} \\ ПС_{3,1} & ПС_{3,2} & - & \dots & ПС_{3,N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ ПС_{N,1} & ПС_{N,2} & ПС_{N,3} & \dots & - \end{pmatrix} \quad (1)$$

где $ПС_{ij}$ – пропускная способность канала связи между t_i и t_j узлами транспортной сети.

Органы и объекты управления связаны между собой согласно структуре системы управления. Структура зависит от объекта управления и решаемых системой управления задач. Управление распределенными объектами и динамичными процессами требует соответствующей рас-

пределенной и динамичной системы управления, что в большей степени реализуется за счет использования ресурсов транспортной сети связи. Специфика функционирования системы управления обуславливает различие требований по количеству и качеству потребляемых услуг связи.

Связанность органов и объектов управления (структура системы управления) может быть задана графом или матрицей связности.

Принцип описания системы управления матрицей аналогичен принципу описания транспортной сети. Так количество строк и столбцов матрицы соответствует количеству элементов системы управления, при этом на пересечении строк и столбцов могут указываться значения требований к услугам.

Координаты размещения элементов систем управления в топологии сети задаются соответствием каждому элементу системы управления узла транспортной сети, к которому осуществляется его привязка для получения услуг. Точка привязки зависит от географического расположения элементов систем управления относительно узлов связи транспортной сети.

Требования к качеству услуг определяются исходя из решаемых системой управления задач. Наиболее важным показателем, характеризующим способность транспортной сети выполнять задачи по целевому предназначению, является пропускная способность ее каналов связи, поскольку:

- пропускная способность характеризует целевое предназначение транспортной сети;
- за счет дополнительного задействования пропускной способности возможно повышение качества услуг по другим показателям, например, уменьшение количества ошибок за счет добавления избыточности в передаваемые сообщения, или уменьшение времени передачи за счет параллельной передачи различных частей сообщения по нескольким каналам связи и т.д.;
- как правило, ограничения транспортной сети на обслуживание новых пользователей, обусловлено нехваткой пропускной способности.
- Учитывая вышеуказанное, в представленном техническом решении рассмотрены требования к пропускной способности (скорости) каналов связи между элементами системы управления.

Например, пусть C – некоторая система управления, а $\{c_1, c_2, \dots, c_N\}$ – множество элементов этой системы управления. Тогда матрица связности, задающая структуру системы управления

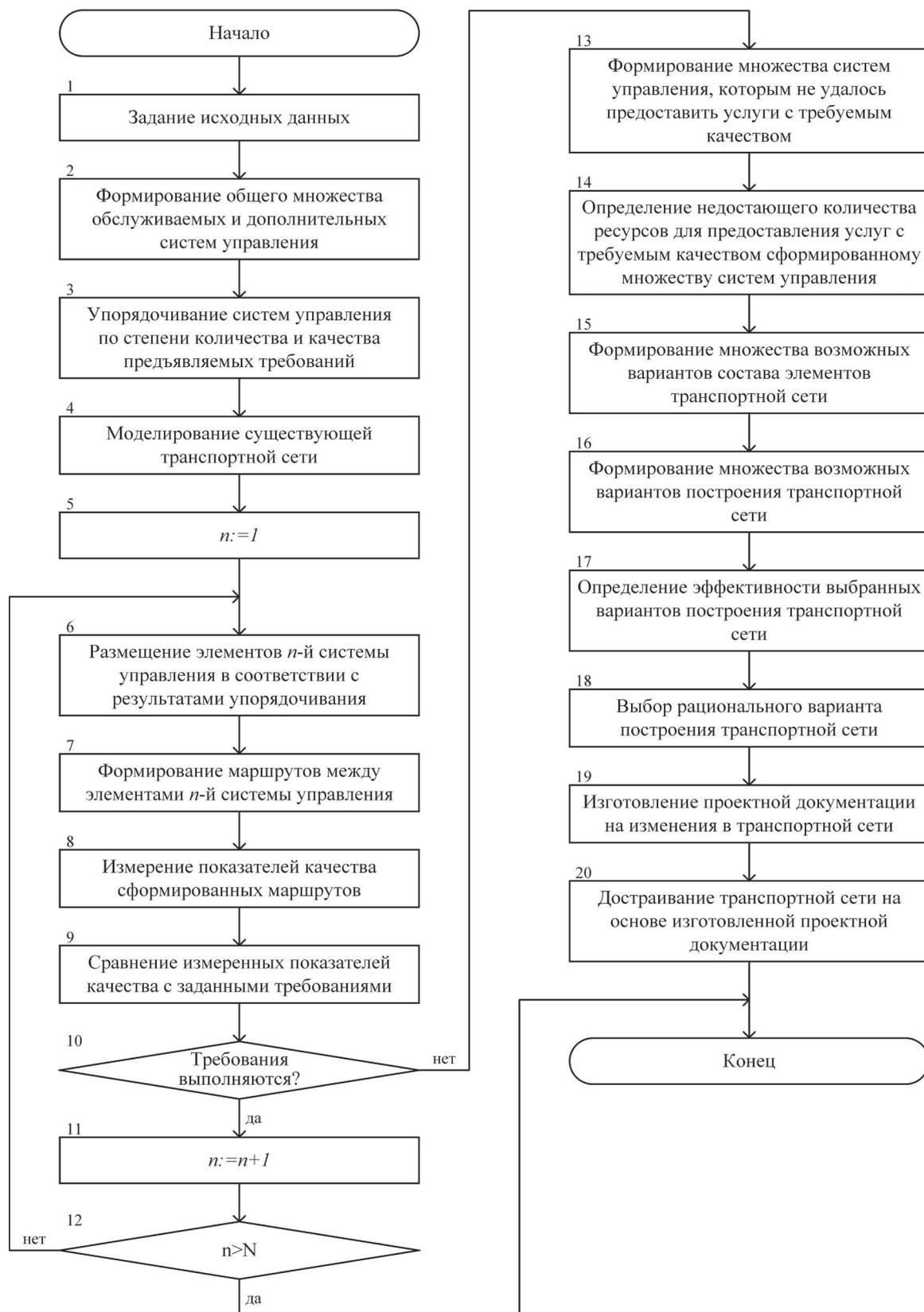


Рис.1. Блок-схема способа развития инфокоммуникационной инфраструктуры при увеличении количества обслуживаемых систем управления

и требуемую пропускную способность каналов представлена ниже:

$$C = \begin{pmatrix} - & PC_{1,2}^{тр} & PC_{1,3}^{тр} & \dots & PC_{1,N}^{тр} \\ PC_{2,1}^{тр} & - & PC_{2,3}^{тр} & \dots & PC_{2,N}^{тр} \\ PC_{3,1}^{тр} & PC_{3,2}^{тр} & - & \dots & PC_{3,N}^{тр} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ PC_{N,1}^{тр} & PC_{N,2}^{тр} & PC_{N,3}^{тр} & \dots & - \end{pmatrix} \quad (2)$$

где $PC_{i,j}^{тр}$ – требуемая пропускная способность канала связи между c_i и c_j элементом системы управления.

В блоке 2 (рис. 1) осуществляется формирование общего множества (C) обслуживаемых (C_e) и дополнительных (C_n) систем управления: $C=C_eUC_n$, при этом общее количество систем управления (N) соответствует мощности множества $C=\{c_1, c_2, \dots, c_N\}$.

В блоке 3 (рис. 1) осуществляется упорядочивание систем управления по объему предъявляемых требований.

В сформированном общем множестве C системы управления упорядочиваются по следующему принципу. Положение системы в общем множестве C тем выше, чем больше сумма требуемых пропускных способностей по каждому информационному направлению:

$$\sum_{k=1}^L PC_k^{тр}, \quad (3)$$

где L – количество информационных направлений системы управления,

$PC_k^{тр}$ – требуемая пропускная способность на k -м информационном направлении.

В блоке 4 (рис. 1) моделируется существующая транспортная сеть.

При моделировании транспортной сети учитываются следующие основные факторы:

- структура транспортной сети и параметры ее элементов;
- используемые в транспортной сети алгоритмы;
- места расположения пользователей транспортной сети, временные и нагрузочные характеристики ее использования.

Обобщенно процесс моделирования транспортных сетей заключается в создании объектов, заменяющих элементы транспортной

сети и ее пользователей, генерации нагрузки пользователями сети, передаче этой нагрузки через моделируемую сеть в соответствии с заданной логикой работы элементов сети.

В блоке 5 (рис. 1) осуществляется инициализация служебного счетчика, для чего переменной n присваивается значение равное единице. Счетчик используется для создания условия выхода из цикла (блоки 6-12, рис. 1).

В блоке 6 (рис. 1) осуществляется размещение элементов n -й системы управления в соответствии с результатами упорядочивания, для чего вносятся изменения в созданную модель транспортной сети путем привязки элементов n -й системы управления к заданным узлам моделируемой транспортной сети.

В блоке 7 (рис. 1) на созданной модели в соответствии с протоколами маршрутизации, используемыми на существующий транспортной сети, осуществляется формирование маршрутов между элементами n -й системы управления.

Сформированные маршруты

$$U^n = \{u_1^n, u_2^n, \dots\}$$

представляют собой упорядоченные множества транзитных узлов моделируемой транспортной сети. Количество маршрутов соответствует количеству информационных направлений.

$$u_i^n = \{t_1, t_2, \dots, t_j\}, \quad (4)$$

где u_i^n – i -й маршрут n -ой системы управления между элементами, подключенными к узлам t_i и t_j транспортной сети, и состоящий из j транзитных узлов.

В блоке 8 (рис. 1) на созданной модели транспортной сети, имитируя функционирование существующих пользователей и ранее размещенных систем управления $\{c_1, c_2, \dots, c_{n-1}\}$, измеряются показатели качества сформированных маршрутов для n -й системы управления.

Методология измерения (тестирования) качества маршрутов в сетях связи заключается в отправке потока пакетов (тестовой последовательности) и оценке изменения параметров потока пакетов (тестовой последовательности) на приемной стороне.

Известны методики измерения показателей качества сетей связи, например: Методология тестирования устройств для соединения сетей, Протокол активных двусторонних измерений, Методология тестирования Ethernet.

Например, расчет средней скорости передачи информации может быть осуществлен следующим образом:

- иницируется передача тестового файла объемом V_T , превышающим заявленную пропускную способность канала связи;
- фиксируется время передачи файла (t);
- рассчитывается скорость передачи по формуле:

$$W = \frac{V_T}{t} \quad (5)$$

- в течение времени измерений (наблюдения) фиксируется минимальная и максимальная скорость передачи данных;
- средняя скорость рассчитывается по формуле:

$$\overline{W} = \frac{\sum_{i=1}^L (W_i)}{L}, \quad (6)$$

где L – количество измерений.

В блоке 9 (рис. 1) сравниваются измеренные показатели качества с заданными требованиями.

Если все требования выполняются (блок 10, рис. 1), что означает способность моделируемой транспортной сети обслужить с заданным качеством размещенные системы управления, то управление передается блоку 11 (рис. 1).

Если хотя бы одно требование не выполняется (блок 10, рис. 1), что означает окончание свободного телекоммуникационного ресурса моделируемой транспортной сети при наличии неразмещенных и, соответственно, необслуженных систем управления, то управление передается блоку 13 (рис. 1).

В блоке 11 (рис. 1) значение счетчика n увеличивается на единицу.

В блоке 12 (рис. 1) проверяется условие $n > N$.

Если условие $n > N$ (блок 12, рис. 1) не выполняется, что означает наличие систем управления, элементы которых еще не размещены на модели транспортной сети, то управление передается блоку 6 (рис. 1).

Если условие $n > N$ (блок 12, рис. 1) выполняется, что означает способность моделируемой транспортной сети предоставить услуги с заданным качеством множеству как уже обсуживаемых систем управления, так и множеству дополнительных систем управления, то делается вывод, что трансформация транспортной сети при увеличении количества обслуживаемых систем

управления не требуется.

В блоке 13 (рис. 1) формируется множество систем управления, которым не удалось предоставить услуги с требуемым качеством: $\{C_n, C_{(n+1)}, \dots, C_N\}$.

В блоке 14 (рис. 1) определяется недостающее количество ресурсов для предоставления услуг с требуемым качеством сформированному общему множеству систем управления C .

Недостающее количество ресурсов определяется следующим образом.

Предварительно размещаются элементы оставшихся систем управления $\{C_n, C_{(n+1)}, \dots, C_N\}$ на модели транспортной сети и строятся маршруты между их элементами.

Для каждой линии связи вычисляется ее недостающий ресурс (требуемая дополнительная пропускная способность) – путем суммирования требуемых пропускных способностей:

$$PC_j^{\text{нед}} = \sum_{i=1}^F PC_i^{\text{тр}}, \quad (7)$$

где $PC_j^{\text{нед}}$ – недостающий пропускная способность j -й линии связи;

$PC_i^{\text{тр}}$ – требования к пропускной способности для i -го информационного направления;

F – количество информационных направлений, маршруты которых проходят через j -ю линию связи.

Недостающее количество ресурсов формируется путем объединения в множество недостающих пропускных способностей линий связи:

$$PC^{\text{нед}} = \{PC_1^{\text{нед}}, PC_2^{\text{нед}}, \dots, PC_K^{\text{нед}}\},$$

где K – количество линий связи транспортной сети.

В блоке 15 (рис. 1) формируется множество возможных вариантов состава элементов транспортной сети.

Множество вариантов создается путем комбинирования различных элементов, при этом в итоговом множестве остаются только те варианты, которые суммарно обеспечивают недостающий ресурс.

В блоке 16 (рис. 1) формируется множество возможных вариантов построения транспортной сети. Варианты построения получаются на основе сформированного множества возможных вариантов состава элементов транспортной сети. Важным показателем, влияющим возможности транспортной сети по предоставлению услуг, помимо состава ее элементов является

их топологическое расположение или структура сети. Построение структуры сети осуществляется следующим образом.

Для формирования множества возможных вариантов построения транспортной сети могут быть использованы различные методы, например, метод морфологического анализа, суть которого заключается в определении функций, которые должны выполняться транспортной сетью, перечислении множества возможных вариантов частных решений осуществления каждой функции и выборе приемлемого решения.

В блоке 17 (рис. 1) определяется эффективность сформированных вариантов построения транспортной сети.

Поскольку решается задача трансформации транспортной сети, важным показателем эффективности является степень внесения изменений в транспортную сеть, которые предполагает тот или иной вариант.

Поэтому эффективность сформированного варианта может быть определена как степень различия существующей транспортной сети и транспортной сети с внесенными изменениями. Эффективность варианта будет тем выше, чем степень различия меньше.

Различие или, в терминологии теории распознавания образов – расстояние, между двумя объектами в пространстве их признаков может быть вычислено, например, по формуле Жаккара, Сокзла и Миченера, Рассела и Рао и др.

Коэффициент различия может быть вычислен путем сравнения двух матриц связанности. Первая матрица связанности соответствует структуре существующей транспортной сети, а вторая – существующей транспортной сети с внесенными изменениями в соответствии со сформированным вариантом.

Классическое расстояние Рассела и Рао вычисляется по формуле:

$$1 - \frac{i}{N}, \quad (8)$$

где i – число совпавших бинарных признаков, N – общее число признаков. При этом в случае сравнения матриц связанности i – число идентичных ячеек, значения в которых совпадают в обеих матрицах и не равны нулю, N – общее число ячеек в матрице. Такой коэффициент показателен при сравнении структуры сетей.

Однако, важно не только различие структуры сетей, но и различие характеристик каналов связи. Поэтому для вычисления различия с

учетом качества каналов связи значения пропускной способности в матрицах нормализуются, после чего вычисляется расстояние по адаптированной авторами формуле Рассела и Рао:

$$1 - \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |PC_{i,j} - PC_{i,j}^*|}{N^2}, \quad (9)$$

где $PC_{i,j}$ – нормализованное значение пропускной способности в ячейке i,j матрицы связности существующей транспортной сети;

$PC_{i,j}^*$ – нормализованное значение пропускной способности в ячейке i,j матрицы связности существующей транспортной сети с внесенными изменениями в соответствии со сформированным вариантом; N^2 – количество ячеек в матрице.

В блоке 18 (рис. 1) выбирается рациональный вариант построения транспортной сети: из сформированных вариантов построения транспортной сети, удовлетворяющих потребностям нового состава потребителей (существующих и дополнительных систем управления), выбирают вариант, предполагающий минимальные изменения в транспортной сети.

Завершающий этап заключается в изготовлении проектной документации на изменения в транспортной сети (рис. 1, блок 19) и достраивании этой сети (рис. 1, блок 20).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования предложено техническое решение для повышения своевременности предоставления инфокоммуникационных услуг с заданным качеством. Научная новизна работы заключается в модификации подходов к управлению развитием инфокоммуникационной инфраструктуры и адаптации формулы Рассела и Рао, что позволяет повысить эффективность предоставления услуг. Полученные результаты могут быть применены для улучшения работы инфокоммуникационных систем в условиях изменения состава потребителей.

Эффективность, достоверность и реализуемость представленного технического решения апробирована в ходе эксперимента на разработанной авторами имитационной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стародубцев Ю.И. Экономика цифровых информационных услуг: монография / Ю. И. Стародубцев, М.А. Давлятова, ; под общей редакцией заслуженного деятеля науки РФ профессора Ю.И. Стародубцева. –

СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 452 С.

2. Стародубцев, Ю.И. Структурно-функциональная модель киберпространства / Ю.И. Стародубцев, П.В. Закалкин, С.А. Иванов // Вопросы кибербезопасности. – 2021. – № 4 (44). – С. 16-24. – DOI:10.21681/2311-3456-2021-4-16-24.

3. Бречко, А. А. Проблема синтеза инфокоммуникационных систем с коротким жизненным циклом / А. А. Бречко // Радиолокация, навигация, связь : Сборник трудов XXX Международной научно-технической конференции. В 5-ти томах, Воронеж, 16–18 апреля 2024 года. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2024. – С. 284-287.

4. Бречко, А. А. Проблема управления развитием информационно-телекоммуникационных систем / А. А. Бречко, Ю. И. Стародубцев // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2023) : Труды Шестнадцатой международной конференции, Москва, 26–28 сентября 2023 года. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2023. – С. 192-196. – DOI 10.25728/mlsd.2023.0192.

5. Иванов В. Г. Основы построения и оценки эффективности функционирования системы связи специального назначения в международном вооруженном конфликте на основе многосферной и конвергентной структуры ее элементов: Монография. – СПб.: ПОЛИТЕХ, 2023. – 298 с.

6. Бречко, А. А. Особенности развития информа-

ционной инфраструктуры / А. А. Бречко, Ю. И. Стародубцев // Радиотехника, электроника и связь : тезисы докладов VII Международной научно-технической конференции, Омск, 04–06 октября 2023 года. – Омск: Омский научно-исследовательский институт приборостроения, 2023. – С. 153-155.

7. О проектировании компьютерных сетей / А. М. Бородай, Г. А. Белоусов, Д. С. Судаков, А. А. Плотников // Технологии и техника: пути инновационного развития : Сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции, Воронеж, 14 июня 2024 года. – Воронеж: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 98-101.

8. Львович, К. И. Анализ некоторых особенностей проектирования корпоративных сетей / К. И. Львович, А. А. Плотников // Молодежь и наука: шаг к успеху : Сборник научных статей 6-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 3-х томах, Курск, 22–23 марта 2022 года / Отв. редактор М.С. Разумов. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 55-58.

9. Jiang W. Graph-based deep learning for communication networks: A survey //Computer Communications. – 2022. – Т. 185. – С. 40-54.

10. Chouhan A. S., Sridhar V., Rao S. Service provider strategies in telecommunications markets: analytical and simulation analysis //Sādhanā. – 2021. – Т. 46. – №. 1. – С. 44.

A TECHNICAL SOLUTION TO IMPROVE THE TIMELINESS OF INFORMATION EXCHANGE AND COMMUNICATION

Brechko A. A.¹, Philin A. V.²

Keywords: communication transport network, development management, quality of infocommunication services, infocommunication resource, simulation modeling, testing of infocommunication systems, construction of infocommunication systems.

The purpose of the study is to increase the timeliness of the provision of services with a given quality by objects of the infocommunication infrastructure when the composition of the consumers served changes.

Method: methods of analysis, synthesis, graph theory, modeling theory, pattern recognition theory, morphological analysis method were used.

The result of the research is a technical solution (method) aimed at improving the timeliness of providing services with a given quality. The solution includes modeling of an existing infocommunication infrastructure facility, simulation of the functioning of a changed composition of consumers, and assessment of the quality of services provided to consumers. Based on the results of modeling and quality assessment, the missing telecommunications resource is determined. After that, the appearance of the technical system is synthesized taking into account the already existing infocommunication infrastructure, while the search for the optimal solution is carried out by the method of morphological analysis, and the quality criteria of the synthesized system are the fulfillment of the requirements of the new composition of consumers and the minimum of changes made to it. The assessment of the degree of modification is carried out by methods of pattern recognition theory by calculating the distance between different variants in the space of their features. Due to this, the time for providing services with a given quality is minimized.

The scientific novelty consists in the modification of the methodological approach to providing consumers with information and communication services, which is the basis of the developed technical solution, as well as the adaptation of the Russell and Rao formula.

¹ Brechko Alexander Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, doctoral student of the Military Academy of Communications named after S.M. Budyonny, St. Petersburg, E-mail: alexanderbrechko@yandex.ru

² Filin Andrey Viktorovich, Deputy Head of the Department of the Main Directorate of Communications of the Armed Forces of the Russian Federation, Moscow, E-mail: fi1y@mail.ru

REFERENCES

1. Starodubcev Ju.I. Jekonomika cifrovyh informacionnyh uslug: monografija / Ju. I. Starodubcev, M.A. Davljatova, ; pod obshhej redakciej zasluzhennogo dejatelja nauki RF professora Ju.I. Starodubceva. – SPb.: POLITEH-PRESS, 2019. – 452 S.
2. Starodubcev, Ju.I. Strukturno-funkcional'naja model' kiberprostranstva / Ju.I. Starodubcev, P.V. Zakalkin, S.A. Ivanov // Voprosy kiberbezopasnosti. – 2021. – № 4 (44). – S. 16-24. – DOI:10.21681/2311-3456-2021-4-16-24.
3. Brechko, A. A. Problema sinteza infokom-munikacionnyh sistem s korotkim zhiznennym ciklom / A. A. Brechko // Radiolokacija, navigacija, svjaz' : Sbornik trudov XXX Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. V 5-ti tomah, Voronezh, 16–18 aprelja 2024 goda. – Voronezh: Izdatel'skij dom VGU, 2024. – S. 284-287.
4. Brechko, A. A. Problema upravlenija razvitiem informacionno-telekommunikacionnyh sistem / A. A. Brechko, Ju. I. Starodubcev // Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnyh sistem (MLSD'2023) : Trudy Shestnadcatoj mezhdunarodnoj konferencii, Moskva, 26–28 sentjabrja 2023 goda. – Moskva: Institut problem upravlenija im. V.A. Trapeznikova RAN, 2023. – S. 192-196. – DOI 10.25728/mlsd.2023.0192.
5. Ivanov V. G. Osnovy postroenija i ocenki jeffektivnosti funkcionirovanija sistemy svjazi special'nogo naznachenija v mezhdunarodnom vooruzhennom konflikte na osnove mnogosfernoj i konvergentnoj struktury ee jelementov: Monografija. – SPb. : POLITEH, 2023. – 298 s.
6. Brechko, A. A. Osobennosti razvitija informacionnoj infrastruktury / A. A. Brechko, Ju. I. Starodubcev // Radiotehnika, jelektronika i svjaz' : tezisy dokladov VII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Omsk, 04–06 oktjabrja 2023 goda. – Omsk: Omskij nauchno-issledovatel'skij institut priborostroenija, 2023. – S. 153-155.
7. O proektirovanii komp'juternyh setej / A. M. Borodaj, G. A. Belousov, D. S. Sudakov, A. A. Plotnikov // Tehnologii i tehnika: puti innovacionnogo razvitija : Sbornik nauchnyh statej 2-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Voronezh, 14 ijunja 2024 goda. – Voronezh: ZAO "Universitetskaja kniga", 2024. – S. 98-101.
8. L'vovich, K. I. Analiz nekotoryh osobennostej proektirovanija korporativnyh setej / K. I. L'vovich, A. A. Plotnikov // Molodezh' i nauka: shag k uspehu : Sbornik nauchnyh statej 6-j Vserossijskoj nauchnoj konferencii perspektivnyh razrabotok molodyh uchenyh. V 3-h tomah, Kursk, 22–23 marta 2022 goda / Otv. redaktor M.S. Razumov . Tom 3. – Kursk: Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet, 2022. – S. 55-58.
9. Jiang W. Graph-based deep learning for communication networks: A survey //Computer Communications. – 2022. – T. 185. – S. 40-54.
10. Chouhan A. S., Sridhar V., Rao S. Service provider strategies in telecommunications markets: analytical and simulation analysis //Sādhanā. – 2021. – T. 46. – №. 1. – S. 44. ■

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК КИБЕРПРОСТРАНСТВА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ИЗ ЕГО СОСТАВА

Закалкин П.В.¹

Ключевые слова: разведка в киберпространстве, вероятность, услуга связи, доступность, уравнение регрессии.

Цель исследования: определение вероятностных характеристик киберпространства, а в частности вероятности построения составного канала между двумя произвольными точками киберпространства с целью проведения дальнейших исследований киберпространства.

Метод исследования: системный анализ, сравнительный анализ, методы теории.

Полученные результаты: на основе открытых исходных данных, представленных общественными организациями, рассчитана вероятность построения составного канала между двумя произвольными точками киберпространства; выведено уравнение регрессии для дальнейших расчетов.

Научная новизна: предложен подход к определению вероятностных характеристик киберпространства, а в частности произведен расчет вероятности построения составного канала между двумя произвольными точками киберпространства.

ВВЕДЕНИЕ

Киберпространство сформировалось в результате развития систем связи и их трансформации в информационно-коммуникационные системы с последующей интеграцией с навигационными, технологическими, экономическими и другими процессами в различных областях деятельности человечества. Произошла интеграция процессов генерации, сбора, передачи, обработки и распределения информационных ресурсов в автоматизированном и автоматическом режиме, что непрерывно порождает множество новых технологических процессов в различных областях деятельности человечества, в том числе в управлении отдельными индивидуумами, группами и обществом в целом [1,2].

Киберпространство в корне изменило подход к предоставлению услуг связи, который фактически не изменялся с 1990-х гг. Для корпоративных систем управления (КСУ) появление киберпространства означало поэтапный отказ от использования в системах связи собственных линейных средств в пользу ресурсов и услуг, предоставляемых киберпространством [3,4]. Современные КСУ, используя оконечное оборудование, подключаются к киберпространству (посредством заключения договора с оператором связи) и осуществляют информационный обмен между

своими элементами.

Киберпространство предоставляет свои ресурсы и информационные услуги любому потребителю, имеющему техническую возможность подключения к нему, что приводит к функционированию различных систем управления (в том числе антагонистических) в едином пространстве на единых ресурсах. Это позволяет вести разведывательную деятельность в киберпространстве.

Поиск и сбор данных в информационных ресурсах киберпространства осуществляется средствами технической компьютерной разведки (ТКР), предназначенными для ведения разведки по открытым источникам и осуществления несанкционированного доступа. Большая часть трафика из Европы в Азию, Океанию, Африку и Южную Америку передается через магистральные линии, проходящие непосредственно через США или соединенные с линиями США, и контролируются ими. Используя центры контроля трафика, весь передаваемый трафик проходит через центры обработки глобальной системы сбора и обработки разведывательной информации (например «Эшелон»). Все перехватываемые данные подвергаются автоматизированной контекстной обработке в целях выявления наиболее важных сообщений, классификации по различным признакам и распределения по базам.

¹ Закалкин Павел Владимирович, кандидат технических наук, сотрудник, Академия Федеральной Службы Охраны Российской Федерации, Орёл, Россия. E-mail: pzakalkin@mail.ru orcid.org/0000-0003-2946-2586

Соответственно, элементы КСУ подключаясь к киберпространству непроизвольно накладывают на себя следующие основные ограничения:

- становятся объектом разведки иностранных спецслужб;
- обеспечение связи между элементами КСУ (фактически возможности построения составного канала от одного элемента до другого) целиком зависит от киберпространства;
- трафик, циркулирующий между элементами КСУ проходит по маршрутам, строящимся операторами связи, и в том числе выходит за пределы РФ.

Киберпространство является сложным, динамически изменяющимся, малоизученным пространством. Данное исследование в первую очередь направлено на оценку вероятностных характеристик киберпространства, а в частности затрагивает вероятность построения составного канала от одного элемента киберпространства до другого с учетом необходимости предоставления услуг с приемлемым качеством. Исследование основывается на открытых данных, предоставляемых общественными организациями, декларирующими в качестве своей основной цели тестирование сетей, входящих в киберпространство.

В рамках статьи под киберпространством будем понимать искусственное неоднородное технологическое пространство с множеством разноуровневых органов оперативного и технологического управления, процесс создания и эксплуатации которого не предопределяется требованиями одной системы управления, а функционирует в интересах множества разнородных, в том числе антагонистических систем управления. При этом свойства киберпространства зависят как от характеристик собственных элементов, так и от объема и свойств реализуемых процессов в интересах внутренних и внешних потребителей [5,6].

СРЕДСТВА ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ РАЗВЕДКИ В КИБЕРПРОСТРАНСТВЕ

Построение телекоммуникационной составляющей киберпространства на основе зарубежного телекоммуникационного оборудования с использованием иностранного программного обеспечения и протоколов привело к тому, что ТКР беспрепятственно размещает в киберпространстве средства разведки, информационно-технических воздействий и программные

закладки. В таблице 1 представлены примеры средств компьютерной разведки, данные о которых имеются в открытых источниках (в том числе и были обнародованы Эдвардом Сноуденом).

В качестве примеров технических средств разведки можно указать средства, представленные в каталоге ANT. Каталог ANT – документ АНБ США содержащий перечень устройств и технологий электронного шпионажа, находящихся в распоряжении ANT (подразделение АНБ). Каталог представлен в открытом доступе, также часть средств более подробно рассмотрена в ряде публикаций.

Разведка киберпространства ведется не только напрямую подчиненными иностранным киберкомандованиям подразделениями, но и другими организациями, в том числе общественными, так или иначе связанными с различными структурами иностранных государств. Примерами таких структур могут служить RIPE, GlobalCheck, M-Lab и др.

На организации RIPE остановимся более подробно поскольку она является типовой, и предоставляемые ей данные в дальнейшем будут использоваться для расчетов в проводимом исследовании.

Организацией RIPE создан проект Atlas, целью которого является повышение устойчивости функционирования сети Интернет. Сутью проекта является тестирование сети добровольно установленными на своем сетевом оборудовании датчиками. Этим достигается не только заявленная проектом цель, но и фактически обеспечивается возможность ведения ТКР и реализации деструктивных программных воздействий (ДПВ).

К 2024 году установлено более 12,5 тыс. датчиков, которые суммарно одновременно производят более 20 тыс. измерений различных параметров киберпространства и получают более 7,5 тыс. результатов в секунду. Распределение датчиков на территории мира представлено на рисунке 1.

По состоянию на 2024 год на территории РФ функционирует 734 датчика (включая отключенные в момент проверки). Распределение датчиков на территории РФ представлено на Рис. 2.

Датчик представляет собой сетевое устройство, не имеющее интерфейса для непосредственного взаимодействия с пользователем, взаимодействие осуществляется через управляющий сервер Atlas.

Система состоит из т.н. «якорей» и «зондов», которые рассылаются бесплатно в ответ на поданную заявку. Сервис устроен следующим

Таблица 1 – Средства компьютерной разведки

Название	Кем используется	Возможности
Stellar Wind	АНБ США	Слежение и поиск сообщений электронной почты, телефонных разговоров, финансовых операций и интернет-активность в целом
PRISM	АНБ США	Просмотр электронной почты, фотографий, видео, прослушивание голосовых и видеочатов, отслеживание пересылаемых файлов
CO-TRAVELER	АНБ США	Отслеживание передвижения владельцев сотовых телефонов и выявление сети их контактов
Dropmire	АНБ США	Аппаратные и программные закладки, внедряемые в телекоммуникационные системы
X-Keyscore	АНБ США, Управление радиотехнической обороны Австралии и др.	Более чем 700 серверов, расположенных в США и на территории стран - союзников США
Tempora	Центр правительственной связи Великобритании, АНБ США	Сбор данных из перехватов телефонных разговоров и интернет-трафика
Karma Police	Центр правительственной связи Великобритании	Сбор метаданных в сети Интернет
MAINWAY	АНБ	База данных АНБ, содержащая метаданные звонках, совершенных через крупнейшие телефонные компании США
NarusInsight	ФБР	Прослушивание и анализ данных сетевого трафика в сети Интернет

образом: «зонды» получают и выполняют задания по производству тех или иных измерений, а «якоря» сами имеют разные сетевые сервисы, в отношении которых можно проводить подобные измерения.

Кроме этого, «зонды» получают задания на проверку связности (доступности) или скорости связи с теми или иными адресами. Пользователи RIPE Atlas также могут выполнять индивидуальные измерения, чтобы получить данные о собственных сетях. Вся информация, собранная «якорями» и «зондами», агрегируется и обрабатывается на центральных серверах Ripe Atlas.

Проекты M-Lab и GlobalCheck во многом похожи на RIPE Atlas и также посредством бесплатной раздачи и установки датчиков в различных частях киберпространства собирают информацию о различных параметрах функционирования киберпространства с последующим агрегированием этой информации и ее изучением. Совокупная информация собираемая этими структурами, позволяет получать целостную картину состояния киберпространства фактически в режиме реального времени.

Анализируя места расположения датчиков на территории РФ, можно сделать вывод, что в подавляющем большинстве они расположены

рядом с высшими военными учебными заведениями, воинскими частями, объектами, имеющими стратегическое значение (заводы, аэропорты, крупные центры связи). При этом количество датчиков увеличивается, если в населенном пункте имеется точка обмена трафиком.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что основной функцией данного типа устройств является сбор разведывательных данных о параметрах киберпространства, потребителях и других процессах, протекающих в нем.

ФОРМУЛИРОВАНИЕ ГИПОТЕЗ

В общем случае большинство систем мониторинга (в том числе проектов M-Lab и GlobalCheck) включают в себя три основных элемента [7-10]:

- датчики, собирающие информацию о контролируемом объекте;
- подсистема обработки получаемой информации;
- система принятия решения, осуществляющая управляющие воздействия в отношении контролируемого объекта, либо в отношении датчиков, если необходимо осуществление дополни-



Рис. 1. Датчики Atlas на карте мира

тельных, нестандартных и т. п. измерений.

Функционирование такой системы требует постоянной (либо максимально приближенной к этому) связи (с заданным качеством) между элементами, осуществляющими мониторинг и подсистемой сбора и обработки получаемой информации. Другими словами, должно существовать некое множество маршрутов, позволяющее построить составной канал от элементов, осуществляющих мониторинг к подсистеме сбора и обработки получаемой информации. При этом, построенный канал должен обеспечивать

качество, приемлемое для обмена информацией между датчиками и подсистемой сбора и обработки получаемой информации.

Основываясь на принципах работы (из открытых источников) и карты размещения датчиков RIPE Atlas можно выдвинуть следующие гипотезы:

1) все точки киберпространства взаимосвязаны, и в любой произвольный момент времени возможно построить составной канал из одной произвольной точки киберпространства в другую;

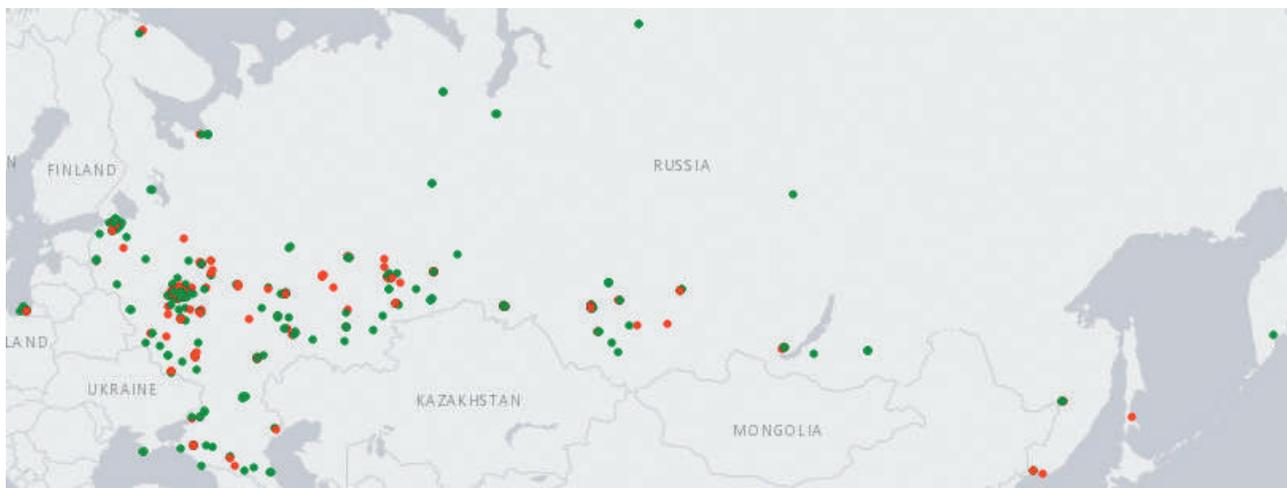


Рис. 2. Датчики Atlas на территории России

2) построение составного канала из одной произвольной точки киберпространства в другую осуществляется с качеством, приемлемым для предоставления информационной услуги.

Учитывая, что структура физических сетей, являющихся основой киберпространства, их связанность, потоки передачи данных, логическая структура и т.д. имеется в виде разрозненных данных у множества операторов связи (с соответствующими пометками отнесения их к конфиденциальной информации, коммерческой тайне и т.п.), составить глобальную физическую структуру киберпространства фактически не представляется возможным. В связи с этим, предлагается использовать данные из открытых источников (в частности, RIPE Atlas) для расчета вероятности построения составного канала из одной произвольной точки киберпространства к другой.

ПОРЯДОК ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ РАСЧЕТОВ

Основная суть измерений датчиками RIPE Atlas заключается в выполнении утилиты `ping` из произвольной точки киберпространства (один из датчиков) к другим датчикам, расположенным по всему миру. Утилита `ping` отправляет ряд пакетов от узла источника к узлу получателю и ждет ответа от него, отображая время, через которое получен ответ. В нашем случае получение ответа от узла получателя говорит о том, что посредством киберпространства до него возможно построить составной канал.

Из всего массива предоставляемых RIPE Atlas данных произвольно выбраны 4 точки (датчика), для каждой из точек произвольно выбрано 5 дат (начиная с 2020 г. и заканчивая мартом 2024 г.). Результаты измерений занесены в таблицы 2–5.

Представленные в таблицах 2–5 данные являются усредненными значениями измерений за два часа. Согласно открытым данным обращение к каждому из датчиков Ripe Atlas осуществляется в среднем раз в 10 мин. (время округлено в большую сторону), соответственно за два часа для каждого из датчиков проводится 12 измерений:

$$2 \cdot 60 \text{ мин} / 10 \text{ мин} = 12.$$

Всего за выбранные даты проводилось 203016 измерений, учитывая, что для каждого датчика за 2 часа осуществляется 12 измерений,

то общее количество измерений для 4-х точек и 5 дат будет составлять: $203016 \cdot 12 = 2436192$. Соответственно, представленные в таблицах 2–5 данные основаны на 2,44 млн. измерений. Такое количество измерений позволяет нам говорить о вероятностных характеристиках доступа к случайным точкам в киберпространстве.

При расчете вероятности построения составного канала из одной произвольной точки киберпространства к другой будем исходить из наихудшего случая и считаем все датчики, о которых нет информации – недоступными. Зная общее количество датчиков и их распределение по времени `ping`, возможно рассчитать вероятность построения составного канала из точки киберпространства (относительно которой проводились измерения) к случайному датчику (а фактически к случайной точке киберпространства). Эта вероятность рассчитана и представлена в каждой таблице в графе «вероятность».

В таблицах 2 – 5 представлены полученные данные.

Исходя из данных, представленных в таблицах 2–5 был произведен расчет вероятности построения составного канала из произвольной точки киберпространства к произвольному датчику (а фактически к произвольной точке киберпространства). Полученные в таблице 6 значения вероятностей отражают вероятность построения составного канала к произвольной точке киберпространства с значением `ping`, не превышающим указанное.

Согласно открытым источникам приемлемым значением `ping` являются значения до 100 ms, значения до 200 ms являются приемлемыми для обращения к сайтам, базам данных и т.д., но медиасервисы будут работать медленнее. Значения `ping` более 200 ms говорит о проблемах на маршруте передачи данных до узла получателя. Исходя из этого, приемлемыми значениями будет считать значения `ping`, не превышающие 200 ms. Соответственно, исходя из рассчитанных и представленных в таблице 6 значений вероятности для каждого времени `ping`, можно рассчитать вероятность построения составного канала к случайному узлу киберпространства с `ping`, не превышающим 200 ms. Расчеты показывают, что с вероятностью 0,874 можно построить составной канал к произвольному узлу киберпространства с `ping`, не превышающим 200 ms:

$$P_{\text{дост}} = 0,874 \text{ при } \text{ping} < 200 \text{ ms.}$$

Таблица 2 – Измерения для точки 1

Дата	< 10 ms	< 20 ms	< 30 ms	< 40 ms	< 50 ms	< 100 ms	< 200 ms	< 300 ms	> 300 ms	НИ	НД	Всего датчиков
10.09.20	3008	1993	921	375	218	478	247	74	41	1431	83	8869
20.01.21	3589	2289	936	430	246	362	109	35	24	1312	72	9404
08.09.22	4224	2520	844	350	207	401	219	55	23	1312	79	10234
11.01.23	4606	2729	896	379	205	430	232	48	28	973	108	10634
06.03.24	5694	3189	1006	483	241	512	292	47	23	85	41	11613
Вероятность	0,416	0,251	0,091	0,040	0,022	0,043	0,022	0,005	0,003	0,108		

Поле «НИ» – нет информации о датчике, поле «НД» – нет доступа к датчику, поле «Всего датчиков» – общее количество датчиков на заданную дату.

Таблица 3 – Измерения для точки 2

Дата	< 10 ms	< 20 ms	< 30 ms	< 40 ms	< 50 ms	< 100 ms	< 200 ms	< 300 ms	> 300 ms	НИ	НД	Всего датчиков
10.09.20	3144	1888	873	386	210	497	241	92	27	1430	81	8869
20.01.21	3571	2231	1064	414	222	334	131	32	13	1313	79	9404
08.09.22	4316	2586	867	348	202	325	138	39	21	1314	78	10234
11.01.23	4765	2845	894	359	207	323	141	31	12	973	84	10634
06.03.24	5939	3283	1062	434	222	345	175	20	20	72	41	11613
Вероятность	0,428	0,253	0,094	0,038	0,021	0,036	0,016	0,004	0,002	0,108		

Таблица 4 – Измерения для точки 3

Дата	< 10 ms	< 20 ms	< 30 ms	< 40 ms	< 50 ms	< 100 ms	< 200 ms	< 300 ms	> 300 ms	НИ	НД	Всего датчиков
10.09.20	2284	1616	1125	532	311	789	525	124	25	1431	107	8869
20.01.21	2541	1984	1345	660	461	625	277	77	16	1312	106	9404
08.09.22	2718	2047	1341	703	487	891	527	80	12	1312	116	10234
11.01.23	2728	2124	1593	819	507	919	722	103	15	973	131	10634
06.03.24	2939	2705	1906	1185	614	827	437	138	22	754	86	11613
Вероятность	0,260	0,206	0,144	0,077	0,047	0,080	0,049	0,010	0,002	0,125		

Таким образом, в настоящее время существующие характеристики киберпространства по своим параметрам позволяют построить составной канал с приемлемым качеством из произвольной точки киберпространства к любому узлу киберпространства с вероятностью 87%.

Учитывая тот факт, что при расчете вероятности доступа из одного узла киберпространства к любому случайному узлу в киберпростран-

стве исходим из наихудшего случая (т.е. все узлы к которым нет доступа и узлы, о которых нет информации, считаем недоступными), то вероятность отказа в построении составного канала из произвольной точки киберпространства к любому произвольному узлу киберпространства составит 11 %.

Здесь необходимо оговориться, что сама по себе физическая связанность с произвольной точкой киберпространства будет (проводные,

Таблица 5 – Измерения для точки 4

Дата	< 10 ms	< 20 ms	< 30 ms	< 40 ms	< 50 ms	< 100 ms	< 200 ms	< 300 ms	> 300 ms	НИ	НД	Всего датчиков
10.09.20	1538	1570	1221	791	511	991	490	167	45	1430	115	8869
20.01.21	1672	1670	1380	877	630	1046	516	130	52	1311	120	9404
08.09.22	1894	1858	1408	867	761	1255	493	235	48	1313	102	10234
11.01.23	2132	1998	1560	949	892	1265	562	203	20	976	77	10634
06.03.24	2480	2258	1631	1224	1055	1373	736	182	26	626	22	11613
Вероятность	0,191	0,184	0,142	0,093	0,076	0,117	0,055	0,018	0,004	0,120		

Таблица 6 – Обобщенные значения вероятности доступа для киберпространства

Значение ping	< 10 ms	< 20 ms	< 30 ms	< 40 ms	< 50 ms	< 100 ms	< 200 ms	< 300 ms	> 300 ms	НД и НИ
Вероятность	0,324	0,224	0,118	0,062	0,041	0,07	0,035	0,009	0,002	0,115

беспроводные и др. линии связи). Однако, на логическом уровне доступ будет заблокирован по какой-либо причине. Например, из-за санкций в отношении РФ, заблокирован доступ к ряду ресурсов, с одной стороны странами, которые ввели санкции, а с другой стороны нашей страной в отношении недружественных стран. Конечно, существует множество способов обхода этих блокировок, однако для этого необходимо применять специализированные средства. В нашем же исследовании мы рассматриваем наихудший случай в условиях отсутствия этих средств.

С учетом этого, и того, что вероятность построения составного канала рассчитывалась с учетом ограничений, округления значений в меньшую сторону, отнесения узлов о которых нет информации к разряду узлов, к которым нет доступа, то реальное значение вероятности построения составного канала на практике может быть значительно выше.

Далее необходимо установить характер зависимости между полученными значениями вероятности. Для чего на первоначальном этапе построим диаграммы, отображающие распределения вероятности построения составного канала к произвольному узлу киберпространства и выбранных точек (рисунок 3 - 7).

На рисунках 3–7 четко прослеживается экспоненциальная регрессия, характеризующаяся резким спадом значения вероятности в начале и его последующим замедлением в дальнейшем и приближением к нулю. Некоторое возрастание значений вероятности на 100 ms и 200 ms прежде

всего вызвано изменением масштаба шкалы измерения (переход с десятков ms на сотни ms).

Уравнение экспоненциальной регрессии имеет вид –

$$\hat{y} = e^{a+bx} \quad (1)$$

Коэффициенты a и b , описывающие взаимосвязь между X и Y , рассчитывались по формулам:

$$b = \frac{n \sum x_i \ln y_i - \sum x_i \cdot \sum \ln y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (2)$$

$$a = \frac{1}{n} \ln y_i - \frac{b}{n} \sum x_i$$

Коэффициент корреляции рассчитывался как:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (3)$$

где $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i$.

Коэффициент детерминации рассчитывался как: R^2 . Средняя ошибка аппроксимации рассчитывалась как:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\% \quad (4)$$

Рассчитанные значения квадратичной, показательной и экспоненциальной регрессии приведены в таблице 7. Средняя ошибка аппроксимации в первую очередь вызвана тем, что используемые значения начинаются не от нуля и не однороден масштаб шкалы измерения (по X).

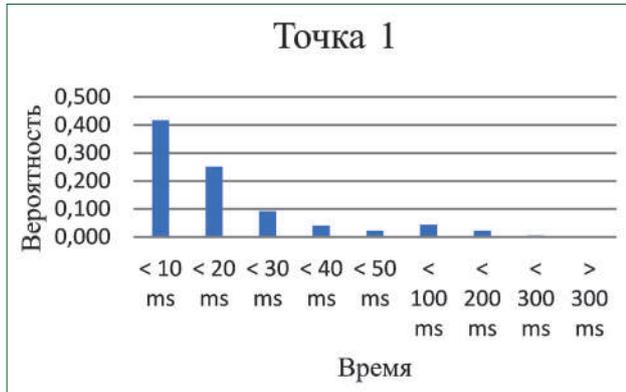


Рис. 3. Графическое отображение распределения вероятности построения составного канала к произвольному узлу киберпространства из точки 1

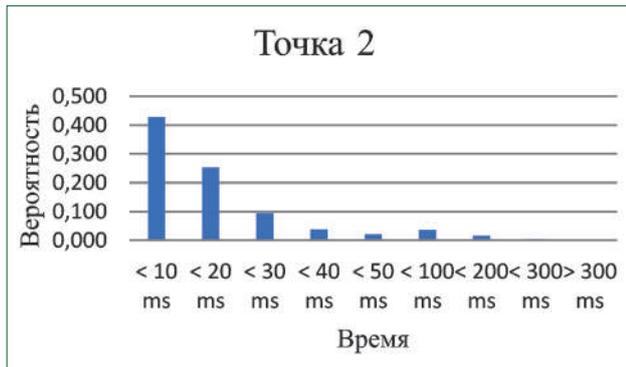


Рис. 4. Графическое отображение распределения вероятности построения составного канала к произвольному узлу киберпространства из точки 2

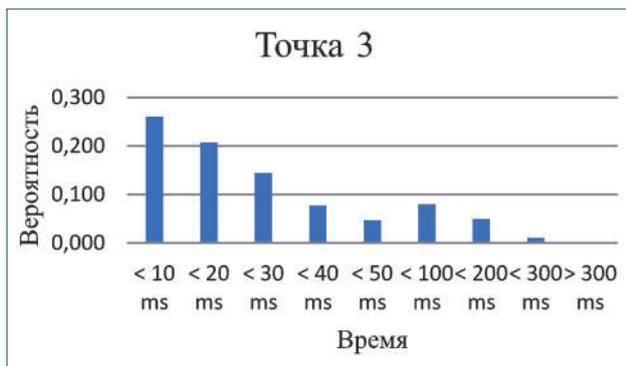


Рис. 5. Графическое отображение распределения вероятности построения составного канала к произвольному узлу киберпространства из точки 3

В результате расчетов получено следующее графическое отображение экспоненциальной регрессии (Рис. 8).

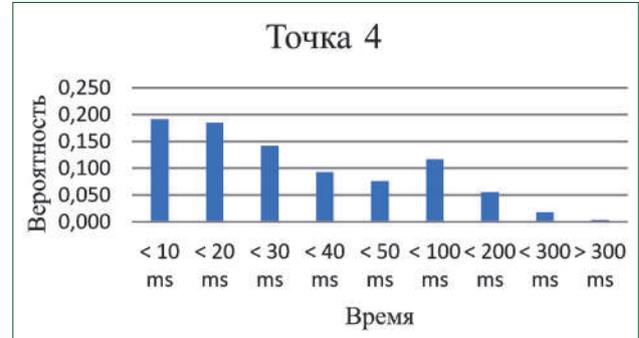


Рис. 6. Графическое отображение распределения вероятности построения составного канала к произвольному узлу киберпространства из точки 4

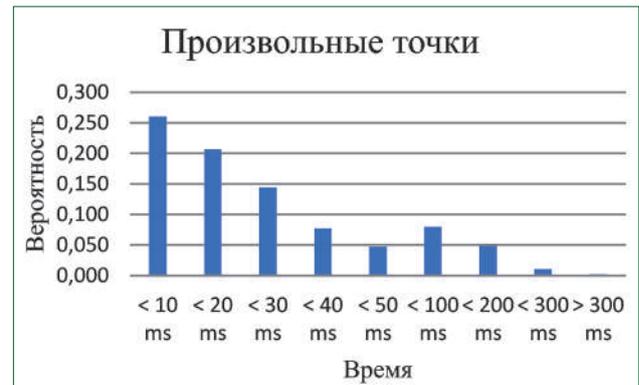


Рис. 7. Графическое отображение распределения вероятности построения составного канала к произвольному узлу произвольной точки киберпространства

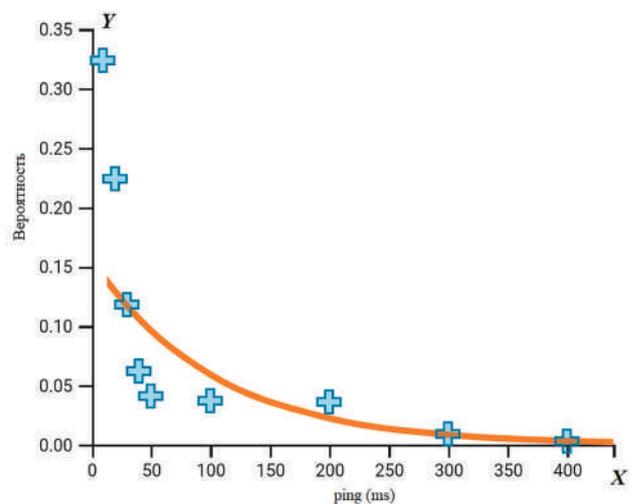


Рис. 8. Графическое отображение экспоненциальной регрессии

Таблица 7 – Значения квадратичной, показательной и экспоненциальной регрессии

	Квадратичная регрессия	Показательная	Экспоненциальная
Коэффициент корреляции	0.75	0.73	0.73
Коэффициент детерминации	0.57	0.54	0.54
Средняя ошибка аппроксимации (%)	190	43	43

Выведено следующее уравнение регрессии, позволяющее прогнозировать значение y при заданном значении x :

$$y = e^{-1.7685-0.0099x} \quad (5)$$

На первоначальном этапе, пока информация, предоставляемая датчиками RIPE Atlas, находится в открытом доступе, для расчетов возможно ее использование. Необходимо понимать, что это временная мера, т.к. RIPE Atlas может свернуть программу, закрыть доступ к информации для посторонних пользователей, предоставлять недостоверную информацию и т.д., что приведет к невозможности проведения расчета.

В текущий момент времени для расчетов возможно использовать полученное уравнение регрессии, которое будет верно до принципиального изменения структуры киберпространства. Однако, в дальнейшем необходима собственная система мониторинга в киберпространстве, позволяющая получать в режиме реального времени собственные значения, необходимые для расчета вероятности доступа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов С.А. Устойчивость сетей связи общего пользования в условиях глобализации // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 9. С. 86–90.
2. Коцыняк М.А., Лаута О.С., Нечепуренко А.П. Методика оценки устойчивости информационно-телекоммуникационной сети в условиях информационного противоборства // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2019. № 1-2 (127-128). С. 58–62.
3. Закалкин П.В. Аспекты использования киберпространства в интересах корпоративных систем управления // Труды Научно-исследовательского института радио. 2021. № 4. С. 23–32.
4. Иванов С.А., Стародубцев Ю.И. Теорема о представлении непрерывного многопараметрического сигнала с ненулевой дисперсией дискретными отсчетами // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 2. С. 12–36
5. Закалкин П.В. Аспекты использования киберпространства в интересах корпоративных систем управления // Труды Научно-исследовательского института радио. 2021. № 4. С. 23–32.
6. Стародубцев Ю.И., Закалкин П.В. Структурно-функциональный анализ конфликтной ситуации между государственной системой обеспечения информационной безопасности и иностранной системой деструктивных воздействий // Вопросы кибербезопасности. 2024. № 4 (62). С. 82–91.

ВЫВОДЫ

В статье предложен подход к определению вероятностных характеристик киберпространства, а в частности произведен расчет вероятности построения составного канала между двумя произвольными точками киберпространства.

Рассчитанные значения вероятностей позволяют:

- проводить дальнейшие исследования киберпространства: осуществлять анализ свойств киберпространства для формирования требований к элементам и разработки алгоритмов их функционирования; формировать данные для оптимизации процессов управления ресурсами киберпространством; и т.д.;
- служить исходными данными для исследований в области информационной безопасности;
- строить аналитико-имитационные модели киберпространства.

Достоверность исследования подтверждается:

- использованием апробированных исходных данных, характеризующих параметры киберпространства;
- использованием ключевых положений теории вероятности.

7. Белов А.С., Добрышин М.М. Предложение по удаленному мониторингу программных средств автономных комплексов связи // *Авиакосмическое приборостроение*. 2021. № 6. С. 13–20.
8. Гречишников Е.В., Зубачев А.Б., Сазыкин А.М., Добрышин М.М., Берлизев А.В. Предложения по повышению быстродействия распределенной системы мониторинга компьютерных сетей, интегрированных в единую сеть электросвязи // *Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму*. 2017. № 3-4 (105-106). С. 24–29.
9. Нижегородов А.В., Закалкин П.В., Стародубцев П.Ю., Кабанов А.С. Роль мониторинга в системе обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак // *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2013. № 7. С. 67–71.
10. Закалкин П.В., Стародубцев Ю.И., Майбурд С. В. Предложения по паспортизации российского сегмента киберпространства // В сборнике: *Современное состояние и перспективы развития инфокоммуникационных сетей связи специального назначения. Материалы научно-практической конференции*. Санкт-Петербург, 2024. С. 79–84.

ASSESSMENT OF THE CHARACTERISTICS OF CYBERSPACE BASED ON THE RESULTS OF TESTING NETWORKS FROM ITS COMPOSITION

Zakalkin P.V.¹

Keywords: intelligence in cyberspace, probability, communication service, availability, regression equation.

The purpose of the study is to determine the probabilistic characteristics of cyberspace, and in particular the probability of building a composite channel between two arbitrary points of cyberspace in order to conduct further research on cyberspace.

The results obtained based on open source data provided by public organizations, the probability of building a composite channel between two arbitrary points in cyberspace is calculated; a regression equation is derived for further calculations.

Scientific novelty an approach to determining the probabilistic characteristics of cyberspace is proposed, and in particular, the probability of constructing a composite channel between two arbitrary points of cyberspace is calculated.

Research methods: system analysis, comparative analysis, methods of probability theory.

REFERENCES

1. Ivanov S.A. Uстойchivost' setej svyazi obshhego pol'zovaniya v usloviyah globalizatsii // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki*. 2021. № 9. С. 86–90.
2. Kocynjak M.A., Lauta O.S., Nechepurenko A.P. Metodika ocenki ustojchivosti informacionno-telekommunikacionnoj seti v usloviyah informacionnogo protivoborstva // *Voprosy oboronnoj tehniky. Seriya 16: Tehnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu*. 2019. № 1-2 (127-128). С. 58–62.
3. Zakalkin P.V. Aspekty ispol'zovaniya kiberprostranstva v interesah korporativnyh sistem upravleniya // *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo instituta radio*. 2021. № 4. С. 23–32.
4. Ivanov S.A., Starodubcev Ju.I. Teorema o predstavlenii nepreryvnogo mnogoparametricheskogo signala s nenulevoj dispersiej diskretnymi otschetami // *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*. 2021. № 2. С. 12–36
5. Zakalkin P.V. Aspekty ispol'zovaniya kiberprostranstva v interesah korporativnyh sistem upravleniya // *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo instituta radio*. 2021. № 4. С. 23–32.
6. Starodubcev Ju.I., Zakalkin P.V. Strukturno-funkcional'nyj analiz konfliktnoj situatsii mezhdu gosudarstvennoj sistemoy obespecheniya informacionnoj bezopasnosti i inostrannoj sistemoy destruktivnyh vozdeystvij // *Voprosy kiberbezopasnosti*. 2024. № 4 (62). С. 82–91.
7. Belov A.S., Dobryshin M.M. Predlozhenie po udalennomu monitoringu programmnyh sredstv avtonomnyh kompleksov svyazi // *Авиакосмическое приборостроение*. 2021. № 6. С. 13–20.
8. Grechishnikov E.V., Zubachev A.B., Sazykin A.M., Dobryshin M.M., Berlizev A.V. Predlozheniya po povysheniju bystrodejstvija raspredelennoj sistemy monitoringa komp'yuternyh setej, integrirovannyh v edinuju set' jelektrosvyazi // *Voprosy oboronnoj tehniky. Seriya 16: Tehnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu*. 2017. № 3-4 (105-106). С. 24–29.
9. Nizhegorodov A.V., Zakalkin P.V., Starodubcev P.Ju., Kabanov A.S. Rol' monitoringa v sisteme obnaruzheniya, preduprezhdeniya i likvidatsii posledstvij komp'yuternyh atak // *Promyshlennye ASU i kontrollery*. 2013. № 7. С. 67–71.
10. Zakalkin P.V., Starodubcev Ju.I., Majburd S. V. Predlozheniya po passportizatsii rossijskogo segmenta kiberprostranstva // В сборнике: *Современное состояние и перспективы развития инфокоммуникационных сетей связи специального назначения. Материалы научно-практической конференции*. Санкт-Петербург, 2024. С. 79–84. ■

¹ Zakalkin Pavel Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Employee, Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation, Orel, Russia. E-mail: pzakalkin@mail.ru orcid.org/0000-0003-2946-2586

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КОМПЛЕКСАХ И СРЕДСТВАХ СВЯЗИ

Долматов Е.А.¹, Яговитов Д.С.²

Ключевые слова: контроль качества, метрика, характеристика, интеллектуальная система, инфокоммуникационная система.

Цель исследования: состоит в разработке методики оценки качества функционирования систем искусственного интеллекта в комплексах и средствах связи специального назначения, согласно действующих руководящих документов Российской Федерации.

Метод исследования: теоретический и эмпирический анализ, теоретический синтез.

Результат: разработанная методика оценки качества функционирования систем искусственного интеллекта в комплексах и средствах связи специального назначения позволила сформировать интегральный подход к оценке качества функционирования инфокоммуникационных систем, в состав которых входят системы искусственного интеллекта, как с учетом действующих руководящих документов Российской Федерации, так и с учетом принятых в инженерной среде показателей качества передачи информации по каналам связи. Предложенный подход положительно апробирован в ходе военно-научного сопровождения, ведущейся на момент написания статьи опытно-конструкторской работы (ОКР) – включён в программу предварительных и государственных испытаний изготовленного опытного образца. Одной из немаловажных особенностей описанной техники оценки качества функционирования сложных систем заключается в не инвариантности её методов и наличии процедуры уточнения в зависимости от состава и функционального предназначения той или иной оцениваемой системы.

Практическая ценность: разработанная методика оценки качества функционирования систем искусственного интеллекта в комплексах и средствах связи специального назначения на основе прозрачных вычислений позволила сформировать объективные выводы об успешности выполнения той или иной инфокоммуникационной системой своих функций по предназначению.

ВВЕДЕНИЕ

Наступивший век господства цифровых технологий практически во всех сферах хозяйственной деятельности человека predetermined направление развития сложных инфокоммуникационных систем в сторону применения методов (алгоритмов) искусственного интеллекта (ИИ). Однако в части, касающейся критически важных объектов телекоммуникационной инфраструктуры, например, назначением которых является поддержание обороноспособности страны и безопасности государства, степень доверия к результатам функционирования таких систем (так называемая «этичность» ИИ) может быть определена не однозначно в виду вариативности результатов, получаемых с применением технологий ИИ (ТИИ).

В подтверждение сказанного в [1–3] за-

трагивается проблематика правового регулирования разработки и внедрения СИИ, в том числе в источниках повышенной опасности. Выходом из сложившейся ситуации слабой проработанности отечественной нормативно-законодательной базы могут стать такие механизмы, как страхование, лицензирование, сертифицирование, стандартизация, что будет способствовать разработке дополнительных требований к созданию СИИ и повышению их эффективности как интегрального показателя качества функционирования. Автор [1] указывает, что ответственность [за внедрение СИИ] должна регулироваться надзорными органами, особенно в таких отраслях, как медицина, финансовые услуги, где могут существовать правила, требующие определенных стандартов и прозрачности использования СИИ. Нарушение таких правил может привести к административным санкциям или отзыву лицензий.

¹ Долматов Евгений Александрович, кандидат технических наук., доцент, заместитель начальника ФГБУ «16 ЦНИИИ» Минобороны России по научной работе, г. Мытищи, Россия. E-mail: mesterium@inbox.ru

² Яговитов Данила Сергеевич, кандидат технических наук, начальник лаборатории ФГБУ «16 ЦНИИИ» Минобороны России, г. Мытищи, Россия. E-mail: danila.yagovitov@mail.ru

В публикации [4] автором рассмотрены аспекты применения российскими производителями товаров и услуг ТИИ с целью осуществления импортозамещения: прогнозирование и анализ данных, автоматизация рабочих процессов, персонализация и маркетинг, управление рисками и экономические вызовы. Однако, исходя из текста аннотации статьи, подходов к оценке качества указанных подходов сформулировано не было.

В [5] рассмотрены интеллектуальные технологии, используемые при проектировании СИИ в интересах создания композиций и прогнозирования свойств вторичных полимерных материалов. Результатом функционирования системы является формирование технологической карты производства полимерного изделия, включающей информацию о рецептуре и процессе синтеза композиции, спецификации оборудования и значениях технологических режимов стадий производства. По мнению авторов, применение системы позволяет сократить временные затраты на решение задачи подбора композиций и перенастройки производства, снизить брак и повысить потребительские характеристики полимерных изделий, однако в аннотации статьи не указано, какими метриками пользовались авторы для приведенной оценки качества функционирования проектируемой СИИ.

В публикациях [6, 7, 8] предложен подход, заключающийся в повышении точности управления системами, не реализуемые для представления в виде модели с постоянными параметрами (константами), а внешние воздействия на такие системы – в виде известных случайных величин. Для обучения функционирования указанных систем предложено использовать нейронные сети – с целью реализации непосредственно процесса обучения – и нечёткую логику – для более гибкой настройки законов изменения управляющих воздействий в зависимости от режимов работы системы. Однако метрики оценки качества обучения такой системы, или её непосредственного функционирования, или же управления ею, как и интегральный показатель качества управления/обучения, применимые к функционированию рассмотренной в [6, 7, 8] системы и её модели, перечислены не были.

В докладе [9] рассмотрено применение динамической экспертной системы (ЭС) на основе модели системы контроля технического состояния генераторов сигналов в радиоэлектронных системах аэронавигационного комплекса. В рассмотренной системе принятие решений

основывается на постоянном анализе параметров частотно-временных параметров сигналов, формируемых генераторами радиоэлектронных систем. Предложен авторский метод оценки качества функционирования изучаемой ЭС, заключающийся в вычислении функционала в виде суммы по числу измерений квадратов разностей между измеренными значениями фаз сигнала и смоделированными на основе известного закона распределения случайной величины (нормального и равномерного) с последующим выбором параметров того закона распределения, для которого минимум функционала будет меньше [9, с. 203]. Считаем, что указанный подход представляет научный интерес, однако в интересах его унификации и масштабируемости на другие интеллектуальные системы предлагаем включить в направления дальнейших исследований его адаптацию под действующие на территории Российской Федерации государственные стандарты в соответствующей предметной области.

Известен подход [10], когда в роли показателя качества функционирования имитационной СИИ в динамических процессах экономики и экологии – оптимальной траектории поведения ИИ – предлагается принцип наименьшего действия Гамильтона-Якоби [11]. Примечательно, что рассмотренный далее в статье государственный стандарт не распространяется на системы так называемого «сильного» ИИ, к которой можно отнести имитационную СИИ, представленную в [10], исходя из чего следует, что предложенная эвристика имеет место быть.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ НА ИССЛЕДОВАНИЕ

Подытоживая вышесказанное, следует отметить, что задача выработки единых подходов к оценке качества функционирования технических систем на основе ТИИ является актуальной и важной. Так, федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) предложен национальный стандарт Российской Федерации «ГОСТ Р 59898-2001. Оценка качества систем искусственного интеллекта». В нём определено понятие качества систем ИИ (СИИ); приведена методология, показатели и критерии оценки качества на стадиях жизненного цикла СИИ; формализована модель качества СИИ; приведена классификация существенных характеристик и показателей качества СИИ.

Согласно ГОСТ Р 59898-2001, оценка качества является неотъемлемой частью жизненного цикла СИИ и включает в себя действия, проводимые на стадиях разработки, создания и эксплуатации данных систем в целях обеспечения необходимого уровня соответствия СИИ установленным требованиям.

В зависимости от стадии жизненного цикла оценка качества позволяет:

- определить текущие параметры СИИ и выполнить действия, направленные на повышение ее надежности, производительности, востребованности и целенаправленности, а также расширения функциональности системы путем выполнения процедур по устранению неисправностей и совершенствованию программного обеспечения;
- удостовериться, что выходные данные СИИ являются приемлемыми и обоснованными для решения поставленной задачи в условиях, представленных в описании СИИ, с учетом современного уровня развития отрасли;
- убедиться в достижении целей предназначения СИИ в условиях обеспечения заданной точности, надежности и достоверности выходных данных;
- подтвердить соответствие характеристик СИИ требуемым значениям, установленным в технической документации и/или нормативных правовых актах.

Кроме того, отсутствие надлежащей оценки качества СИИ может привести к снижению уровня безопасности субъектов, с которыми СИИ имеет взаимодействие, что было отмечено выше. С другой стороны, наличие грамотно выстроенной системы оценки качества позволяет повысить доверие к СИИ на физическом уровне путем подтверждения требований к надежности, безопасности и функциональности.

ГОСТ Р 59898-2001 «Оценка качества систем искусственного интеллекта» дополняет представленный в ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015 «Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов» набор показателей качества специализированными характеристиками (субхарактеристиками) и соответствующими метриками с целью обеспечения полноценной оценки качества СИИ. Областью его распространения являются все системы, использующие различные методы ИИ, включая алгоритмы на основе

машинного обучения (обучение по прецедентам – «с учителем»), экспертные системы (на основе дедуктивного обучения – «без учителя»), для решения конкретных практически значимых задач.

Для описания качества СИИ, согласно ГОСТ Р 59898-2001, используется модель качества как продукта, представляющая собой структурированное множество характеристик, в том числе существенных, субхарактеристик, метрик и отношений между ними (рис. 1).

При этом качество СИИ как любого программного обеспечения является интегральным показателем, для оценки которого на этапе построения модели качества как продукта (рис. 1), исходя из функционального назначения системы и решаемой прикладной интеллектуальной задачи, определяется представительный набор показателей качества – существенных характеристик и субхарактеристик, согласно

$$F(S) = \{f_1, f_2, \dots, f_N\} \quad (1)$$

где S – оцениваемая СИИ; F – представительный набор существенных характеристик; $f_i - i$ - я существенная характеристика. Для количественного же измерения показателя качества (характеристики f_i субхарактеристики c_i) используется соответствующая метрика m_i , определяемая на измерительной шкале, тип которой выбирается, исходя из физического смысла соответствующей характеристики f_i (числовая шкала, шкала категорий, отношений и др.).

При выборе представительного набора существенных характеристик и субхарактеристик СИИ целесообразно руководствоваться следующими принципами:

- полнота (достаточность) набора характеристик для принятия решения о возможности использования СИИ при решении конкретной прикладной задачи;
- простота и возможность оценки характеристик путем установления соответствующей (-их) метрик(и), ее (их) уровней ранжирования и оценки;
- простота и возможность измерения значений характеристик;
- отсутствие дублирования (перекрытия диапазонов) между используемыми характеристиками;
- соответствие установившимся понятиям и терминологии;
- возможность последующего уточнения и детализации характеристик.

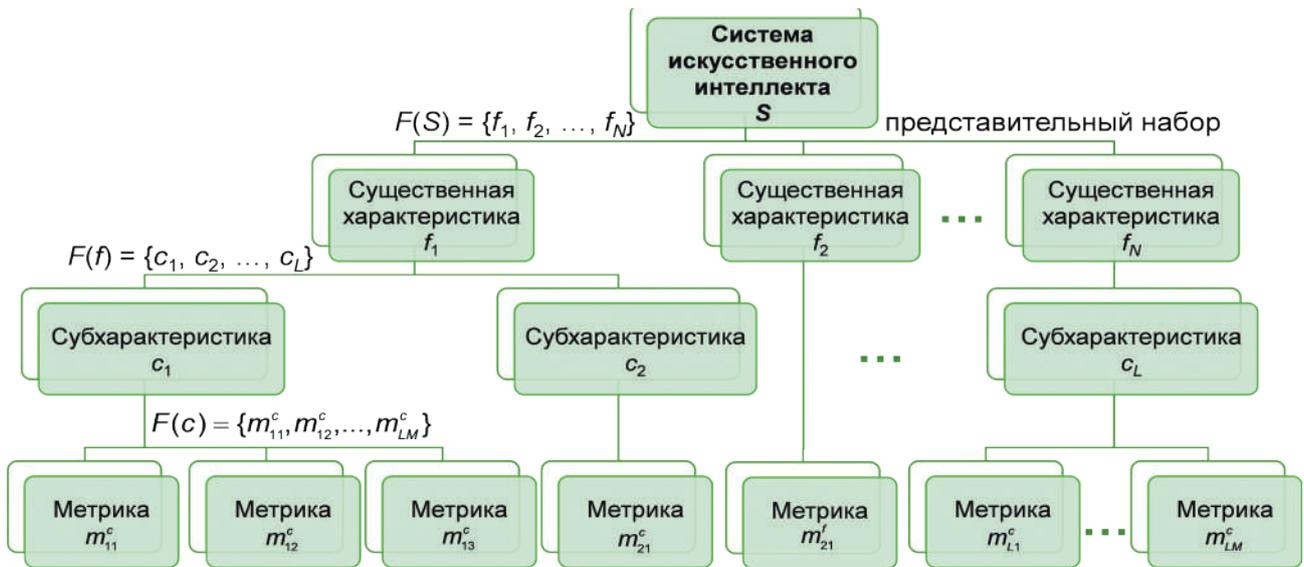


Рис. 1. Модель качества СИИ как продукта

Пример представительного набора существенных характеристик и субхарактеристик представлен в виде табл. 1.

Алгоритм оценки качества СИИ, согласно ГОСТ Р 59898-2001, должен включать следующие основные этапы:

1. Подготовительные работы.
2. Оценка интегрального показателя качества СИИ Q в ходе проведения испытаний.
3. Анализ и интерпретация результатов тестирования.

На этапе подготовительных работ осуществляется установление целей и задач испытаний; выбор (создание) испытательного стенда и оценка условий проведения испытаний; определение набора данных для испытаний и критерия выявления выбросов в данных; выбор и обоснование набора существенных характеристик $\{f\}$ и метрик их оценки $\{m_c\}$; выявление и определение диапазона значимых, наиболее существенных факторов, оказывающих влияние на функционирование СИИ; сопоставление методики проведения испытаний и подготовка программы тестирования с указанием состава экспертной группы.

В ходе второго этапа оценки интегрального показателя качества Q СИИ для каждой j -й метрики m_j задается весовой коэффициент v_j^m .

Далее проводят оценку каждой i -й субхарактеристики c_i k -й характеристики:

$$c_i^k = \frac{\sum_{j=1}^{L1} (m_j \cdot v_j^m)}{\sum_{j=1}^{L1} v_j^m}, \quad (2)$$

где L – количество метрик для конкретной субхарактеристики; $L1$ – количество метрик, использованных при оценке конкретной субхарактеристики ($L1 \leq L$);

$$\sum_{j=1}^L v_j^m = 1$$

Затем для каждой i -й субхарактеристики c_i k -й характеристики определяют весовой коэффициент v_i^c , после чего проводят оценку каждой k -й характеристики:

$$f_k = \frac{\sum_{i=1}^{N1} (c_i^k \cdot v_i^c)}{\sum_{i=1}^{N1} v_i^c}, \quad (3)$$

где N – количество субхарактеристик конкретной k -й характеристики, $N1$ – количество субхарактеристик, использованных при оценке конкретной k -й характеристики ($N1 \leq N$); $\sum_{i=1}^N v_i^c = 1$

После чего для каждой k -й характеристики (функциональность, надежность, безопасность) устанавливают соответствующий коэффициент v_k^Q и получают интегральную оценку качества Q СИИ:

$$Q = \sum_{k=1}^O (f_k \cdot v_k^Q), \quad (4)$$

где $\sum_{k=1}^O v_k^Q = 1, Q \in [0; 1]$.

Рассмотренный этап проведения испытаний (тестирования) СИИ и последующей оценки интегрального показателя качества ее функцио-

Таблица 1 – Пример представительного набора существенных характеристик и субхарактеристик

Группа характеристик {f}	Характеристика по ГОСТ Р 59276–2020	Существенная характеристика	Субхарактеристика {cf}	Метрики {mc}
Функциональность	Функциональные возможности	Функциональные возможности (functionality)	Функциональная корректность (правильность) (functional correctness)	Результативность, доля правильных ответов (accuracy), точность (precision), полнота (recall), избирательность (specificity), F-мера, AUC-ROC
			Функциональная пригодность (functional appropriateness)	Степень автоматизации
			Функциональная полнота (functional completeness)	Полнота реализации функций
		Способность к взаимодействию (compatibility)	Соответствие (co-existence)	
		Уровень производительности (performance efficiency)	Контролируемость (controllability)	
	Эффективность	Уровень производительности (performance efficiency)	Характер изменения во времени (time behaviour)	Отклонение времени отклика, производительность
			Характер изменения (использования) ресурсов (resource utilization)	
	Практичность	Практичность (usability)	Понятность (explainability)	
	Сопровождаемость	Сопровождаемость (maintainability)	Анализируемость (analysability)	
	Надежность	Надежность	Надежность (reliability)	Стабильность (maturity)
Устойчивость к ошибке (отказоустойчивость) (fault tolerance)				
Робастность (robustness)				

нирования Q сопровождается решением не менее важной задачи отбора метрик субхарактеристик, наиболее репрезентативно представляющих ее целеполагание. Так, например, для СИИ с одной стороны, являющейся информационно-телекоммуникационной системой (ИТКС) с другой, могут

быть использованы следующие наборы метрик для субхарактеристик «функциональная корректность (правильность)» (рис. 2 и 3).

Выбор указанных метрик (рис. 2 и 3) обусловлен также тем, что подсчет большинства из них может быть автоматизирован с использова-

нием библиотеки готовых функций машинного обучения «scikit-learn» высокоуровневого языка программирования Python, ставшим в настоящее время стандартом де-факто в сфере разработки программного обеспечения СИИ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ G.107 «ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ E-МОДЕЛЬ, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ПЕРЕДАЧИ»

Зачастую та или иная СИИ функционирует как подсистема (часто управленческого характера) сложно организационно и технически устроенной системы. Соответственно, оценивать только показатель качества Q (4) функционирования СИИ в данном случае недостаточно, если стоит цель определить эффективность работы системы в целом. Например, относительно сложных ИТКС основой методики оценки качества передачи информации (речевой) по каналам (линиям) связи может быть выбрана вычислительная E-модель, используемая при планировании передачи, внесенная Международным союзом электросвязи (рекомендация G.107¹). Рекомендация G.107 описывает вычислительную E-модель, признанную полезным инструментом при планировании передачи сигналов для оценки комбинированных эффектов изменения различных параметров передачи, влияющих на качество переговоров по аппаратам с микротелефонными

трубками в спектре телефонии 3,1 кГц. Расчеты модели основаны на методе коэффициентов снижения качества оборудования (рис. 4).

Результатом расчетов качества передачи речевой информации, согласно E-модели, является коэффициент рейтинга (rating factor) R (5):

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e - eff + A, \quad (5)$$

где:

- $R_o = 15 - 1,5(SLR + No)$ – основное соотношение сигнал/шум; SLR – показатель громкости передачи, No – сложение по мощности от различных источников шума (цепь, помещения, местный эффект);
- $I_s = I_{olr} + I_{st} + I_q$ – коэффициент одновременного снижения качества; I_{olr} – коэффициент вызванного слишком низкими значениями OLR снижения качества, I_{st} – коэффициент снижения качества, вызванного неоптимальным местным эффектом, I_q – коэффициент снижения качества, вызванного искажениями квантования;
- $I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd}$ – коэффициент снижения качества из-за задержки; I_{dte} – коэффициент снижения качества, вызванного эхом говорящего; I_{dle} – коэффициент снижения качества, вызванного эхом слушающего; I_{dd} – коэффициент снижения качества, вызванного слишком длительной абсолютной задержкой;

Наименование метрики	Формула	Измеряемый диапазон	Интерпретация													
Результативность	$M_2 = 1 - \frac{A}{B}$ где A – количество результатов с отличным от требуемого уровнем точности; B – общее количество результатов.	$M_2 \in [0, 1]$	Отображает степень точности функционирования СИИ													
В задачах регрессии:																
Средняя квадратичная ошибка (mean squared error, MSE)	$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2$ где y_i – выходные данные СИИ; \bar{y}_i – эталонные (референсные) выходные данные; N – количество результатов функционирования СИИ.	$MSE \geq 0$	Отображает меру среднеквадратичного разброса выходных данных СИИ от референсных значений													
Средняя абсолютная ошибка (mean absolute error, MAE)	$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i - \bar{y}_i $ где y_i – выходные данные СИИ; \bar{y}_i – эталонные (референсные) выходные данные; N – количество результатов функционирования СИИ	$MAE \geq 0$	Отображает меру абсолютного среднего разброса выходных данных СИИ от референсных значений													
В задачах классификации и обнаружения:																
Матрица ошибок (confusion matrix)	TP – истинно положительные решения СИИ (True Positive); FP – ложно положительные решения СИИ (False Positive); FN – ложно отрицательные решения СИИ (False Negative); TN – истинно отрицательные решения СИИ (True Negative).	–	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" rowspan="2"></td> <td colspan="2">Prediction</td> </tr> <tr> <td>Positive</td> <td>Negative</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Actual</td> <td>Positive</td> <td>TP</td> <td>FN</td> </tr> <tr> <td>Negative</td> <td>FP</td> <td>TN</td> </tr> </table>			Prediction		Positive	Negative	Actual	Positive	TP	FN	Negative	FP	TN
		Prediction														
		Positive	Negative													
Actual	Positive	TP	FN													
	Negative	FP	TN													
Доля правильных ответов (accuracy)	$A = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$	$A \in [0, 1]$	Отображает долю решений СИИ, которые совпадают с референскими													
Точность (precision, relevance)	$Pr = \frac{TP}{TP + FP}$	$Pr \in [0, 1]$	Отображает процент объектов, относительно которых СИИ принято решение об отнесении к основному классу, действительно являющихся таковым													
Чувствительность, полнота (sensitivity, recall)	$Se = \frac{TP}{TP + FN}$	$Se \in [0, 1]$	Отображает процент объектов основного класса, обнаруженный СИИ													

Рис. 2. Примеры метрик оценки функциональной корректности СИИ

$$le-eff = le + (95 - le) \cdot \frac{Ppl}{BurstR + Bpl}$$

коэффициент снижения качества оборудования, зависящий от потери пакетов; le – коэффициент

снижения качества оборудования; Ppl – вероятность потери пакетов; $BurstR$ – коэффициент всплеска в принимаемой последовательности; Bpl – коэффициент устойчивости к потере пакетов;

- A – скалярный коэффициент выигрыша.

Наименование метрики	Формула	Измеряемый диапазон	Интерпретация
Избирательность (specificity)	$Sp = \frac{TN}{TN + FP}$	$Sp \in [0,1]$	Отображает процент объектов, правильно не отнесенных СИИ к основному классу, от всех объектов, не являющихся основным классом
F_β -мера (гармоническое среднее)	$F_\beta = (1 + \beta^2) \cdot \frac{Pr \cdot Se}{(\beta^2 \cdot Pr) + Se}$ где β – мера смещения гармонического среднего в сторону Pr или Se ($\beta \in (0, +\infty)$); Pr – точность; Se – чувствительность (полнота).	$F_\beta \in [0,1]$	Метрика, учитывающая баланс между точностью и чувствительностью СИИ
Площадь под ROC-кривой (receiver operation characteristic, рабочая характеристика приемника)	$AUCROC = \int Se \cdot dF$ где $F = 1 - Sp = \frac{FP}{TN + FP}$; Se – чувствительность (полнота); Sp – избирательность.	$AUCROC \in [0,1]$	
Площадь под кривой PRC (precision-recall curve, график зависимости точности от чувствительности)	$AUCPRC = \int Pr \cdot dSe$	$AUCPRC \in [0,1]$	
В задачах восстановления (синтеза и реконструкции) изображений:			
Пиковое отношение сигнал/шум	$PSNR = 10 \lg(\frac{E_{max}^2}{MSE})$ $MSE = \frac{1}{Kwh} \sum_{c=1}^K \sum_{x=1}^K \sum_{y=1}^K (I(x,y,c) - \bar{T}(x,y,c))^2$ $E_{max} = 2^B - 1$ где B – разрядность (глубина квантования); E_{max} – максимальное значение яркости (интенсивности сигнала);	I – выходные данные СИИ; \bar{T} – эталонные выходные данные; K – количество каналов.	

Рис. 3. Примеры метрик оценки функциональной корректности СИИ

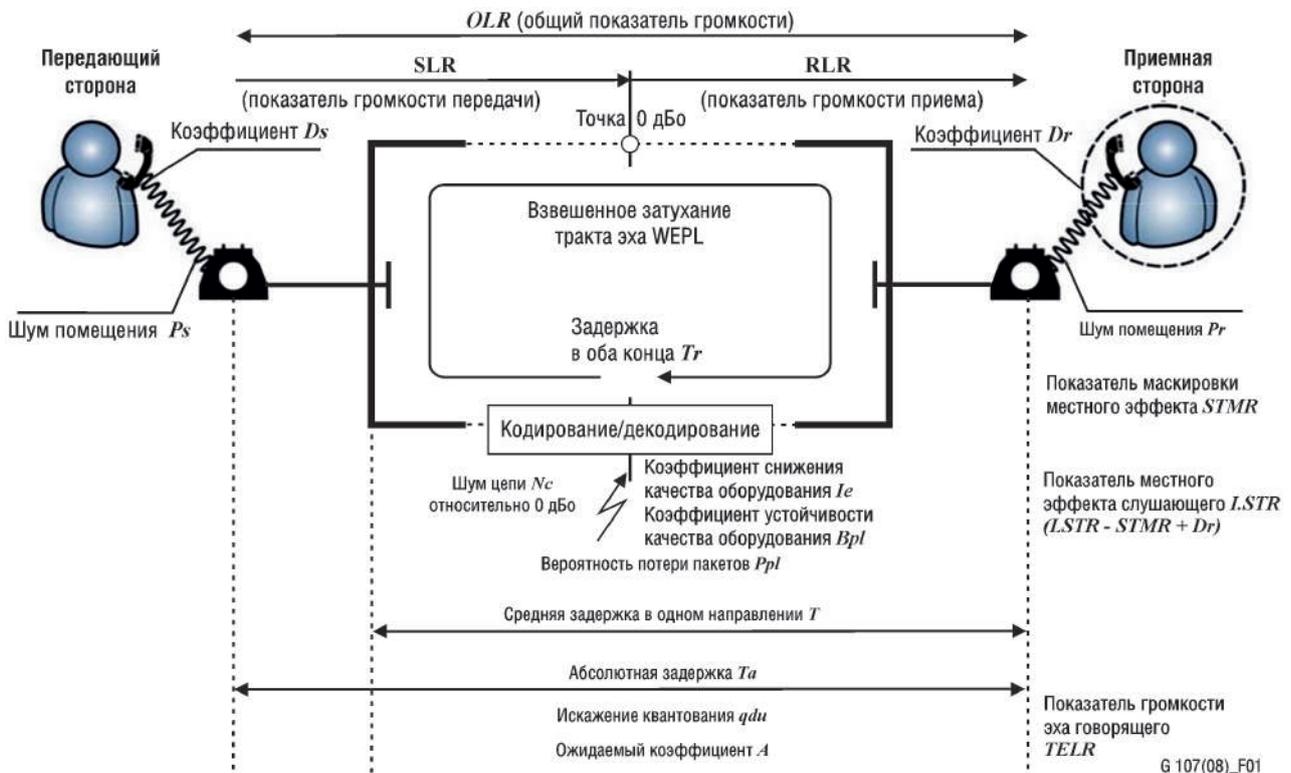


Рис. 4. Эталонное соединение E-модели

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КОМПЛЕКСАХ И СРЕДСТВАХ СВЯЗИ

Однако расчет указанного рейтинг фактора R (5) может быть изменен, согласно целевому предназначению той или иной ИТКС. Так, например, целью разработки опытного образца в ходе выполнения ОКР является создание автоматизированного приемного комплекса слуховой радиосвязи (телеграфной), в состав которого, кроме прочего, входят радиоприемное устройство (РПУ) и декодер азбуки Морзе, предназначенный для автоматического их декодирования с элементами самообучения на основе вероятностного выхода ансамбля искусственных нейронных сетей. В настоящей статье предложена интегральная методика оценки качества функционирования модуля слуховой телеграфной радиосвязи исследуемой ИТКС как с точки зрения оценки непосредственно качества функционирования РПУ, так и с точки зрения качества функционирования СИИ – декодера кодов азбуки Морзе (оценивается качество их автоматического распознавания).

Таким образом, предложенный R -фактор (5) может быть сведен к виду (6):

$$R = R_0 \times Q \times I_{MOS} \times I_{e-eff}, \quad (6)$$

где:

- R_0 – отношение сигнал/шум в линейной форме (например, 1/1);
- Q – интегральная оценка показателя качества СИИ (4);
- I_{MOS} – приведенная субъективная оценка качества радиосвязи (в диапазоне [0.2; 1]);
- I_{e-eff} – доля принятых UDP-пакетов от общего количества переданных в канал радиосвязи (по аналогии с коэффициентом снижения качества оборудования, зависящего от потери пакетов, в (5)).

Согласно предложенной методике расчета R -фактора (6), интегральная оценка показателя качества Q СИИ (4) является одним из его коэффициентов. Коэффициент I_{MOS} получают путем нормировки субъективной оценки качества слухового приема радистом на основе руководящих документов «Руководство по радиосвязи в ВС РФ. Часть 2» и «Сборник единых нормативов и учебных задач для войск связи».

При этом порядок назначения весовых коэффициентов для метрик, субхарактеристик и характеристик остается тем же, что и предложенный в ГОСТ Р 59898-2001. Приведен пример назначения весовых коэффициентов для характеристик «функциональность» и «надежность» и соответствующих им субхарактеристик и метрик (рис. 5).

Характеристики	Весовые коэффициенты характеристик $\{v^c\}$	Существенная характеристика	Субхарактеристика $\{c\}$	Весовые коэффициенты субхарактеристик $\{v^c\}$	Метрики $\{m^c\}$	Весовые коэффициенты метрик $\{v^m\}$
Функциональность	0.6	Функциональные возможности	Функциональная корректность (правильность)	0.6	Результативность декодирования в КП АПК-СР	0.7
					AUC-ROC	0.3
			Функциональная пригодность	0.1	Степень автоматизации	1
		Функциональная полнота	0.15	Полнота реализации функций в КП АПК-СР	1	
		Уровень производительности	Характер изменения во времени	0.15	Среднее отклонение времени отклика	1
Надежность	0.4	Надежность	Стабильность	0.3	Плотность безотказной работы	1
			Устойчивость к ошибке (отказоустойчивость)	0.7	Устойчивость	1

Рис. 5. Порядок назначения весовых коэффициентов (пример)

ВЫВОДЫ

В заключение следует отметить, что:

1) Целесообразно при обосновании возможности принятия на снабжение результатов ОКР (в том числе военного назначения), имеющих в составе СИИ, руководствоваться группой ГОСТ Р 59xxx, в частности – ГОСТ Р 59898-2001 «Оценка качества систем искусственного интеллекта. Общие положения»;

2) С целью комплексной оценки качества функционирования систем из состава опытных образцов вышеуказанных ОКР как в части реализации функций ИИ, так и в части автоматизированной и программной обработки сигналов, передаваемых по каналам связи, возможно применять интегральную методику, например, на основе рекомендации МСЭ-Т G.107 «Е-модель – вычислительная модель, используемая при планировании передачи»;

3) Способ расчета коэффициента оценки качества передачи (R-фактора) при реализации вышеуказанной интегральной методики не является инвариантным и требует уточнения в зависимости от состава и функционального предназначения той или иной системы;

4) Ключевой процедурой оценки интегрального показателя качества Q функционирования СИИ является выбор метрик, характеристик и субхарактеристик, а также назначение их весовых коэффициентов по согласованию с заказчиком и исполнителем ОКР.

5) Предложенный в настоящей статье подход, заключающийся в применении интегральной методики оценки качества функционирования СИИ в комплексах и средствах связи специального назначения, положительно апробирован в ходе военно-научного сопровождения ведущейся ОКР на этапе предварительных и государственных опытного образца, что также подтверждает его практическую ценность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурышева, К. В. Необходимость правового регулирования использования систем искусственного интеллекта в источниках повышенной опасности / К. В. Гурышева // Юридическая наука: история и современность. – 2023. – № 8. – С. 102–114.
2. Щитова, А. А. Правовое регулирование информационных отношений по использованию систем искусственного интеллекта : специальность 12.00.13 "Информационное право" : диссертация на соискание ученой степени кандидата юридических наук / Щитова Анастасия Андреевна. – Москва, 2022. – 225 с.
3. Карганов, В. В. Программа стандартизации, как инструмент развития высокотехнологичного направления искусственного интеллекта / В. В. Карганов, А. И. Карганова, М. С. Косьянова // Инновационная деятельность в вооруженных Силах Российской Федерации: Труды всеармейской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 13–14 октября 2022 года. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования "Военная академия связи имени маршала Советского Союза С. М. Буденного" Министерства Обороны Российской Федерации, 2022. – С. 184–190.
4. Мищенко, Т. Л. Роль искусственного интеллекта в современных условиях / Т. Л. Мищенко, А. А. Картавенко // Инновационное развитие России. Экономика и менеджмент в XXI веке: Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции, Москва, 16 ноября 2023 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Русайнс", 2024. – С. 135–140.
5. Система искусственного интеллекта для формирования композиций и прогнозирования свойств вторичных полимерных материалов / Т. Б. Чистякова, И. В. Новожилова, Т. С. Гончарова, А. С. Разыграев // Искусственный интеллект в автоматизированных системах управления и обработки данных: Сборник статей II Всероссийской научной конференции. В 5 томах, Москва, 27–28 апреля 2023 года. – Москва: Издательский дом КДУ, "Добросвет", 2024. – С. 285–290.
6. Чумаченко, А. А. Система интеллектуального управления объектом в условиях частичной неопределённости / А. А. Чумаченко // Перспективы молодежной науки: Материалы международной научной конференции, Красноярск, 25 декабря 2022 года – 30 января 2023 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. – С. 176–179.
7. Chumachenko, A. A. Intelligent object control system in conditions of partial uncertainty / A. A. Chumachenko // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XVI Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 29–31 марта 2023 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. – Р. 828–831.

8. Адаптивные системы управления в составе прецизионных электромеханических устройств / С. А. Броннов, О. В. Непомнящий, А. А. Чумаченко [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 8. – С. 627-633. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-8-627-628.

9. Использование экспертных систем для повышения надежности радиоэлектронных систем аэронавигационного комплекса / П. И. Костенко, О. А. Сафарьян, И. А. Алферова, Ю. И. Найденова // Актуальные аспекты развития логистических коммуникаций: Российско-армянский логистический форум. Материалы международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 17–27 ноября 2022 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2023. – С. 200–206.

10. Паршикова, Г. Ю. Поиски математического аппарата для моделирования имитационной системы искусственного интеллекта / Г. Ю. Паршикова, А. А. Перфильев, А. А. Силаев // Актуальные проблемы управления – 2022 / Материалы 27-й Международной научно-практической конференции, Москва, 23–24 ноября 2022 года. Выпуск 1. – Москва: Государственный университет управления, 2023. – С. 263–266.

11. Бабанов В. Н., Хомяков В. Н. Принцип наименьшего действия в экономических процессах // Известия ТулГУ. Экономические и юридические науки. 2017. №4–1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsip-naimenshego-deystviya-v-ekonomicheskikh-protsessah>

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITY OF FUNCTIONING OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN COMPLEXES AND MEANS OF COMMUNICATION

Dolmatov Ye. A.¹, Yagovitev D.S.²

Keywords: quality control, metrics, characteristics, intelligent system, infocommunication system.

Objective of the study consists in the development of a methodology for assessing the quality of functioning of artificial intelligence systems in special-purpose complexes and communications facilities, in accordance with the current governing documents of the Russian Federation.

Research method: theoretical and empirical analysis, theoretical synthesis.

Result the developed methodology for assessing the quality of functioning of artificial intelligence systems in special-purpose complexes and communications facilities has allowed us to form an integrated approach to assessing the quality of functioning of information and communication systems, which include artificial intelligence systems, both taking into account the current governing documents of the Russian Federation and taking into account the quality indicators of information transmission through communication channels accepted in the engineering environment. The proposed approach has been positively tested during the military scientific support of the experimental design work (R&D) underway at the time of writing - it is included in the program of preliminary and state tests of the manufactured prototype. One of the important features of the described technique for assessing the quality of functioning of complex systems is the non-invariance of its methods and the availability of a refinement procedure depending on the composition and functional purpose of a particular system being evaluated.

The scientific novelty the methodology for assessing the quality of functioning of artificial intelligence systems in special-purpose complexes and communication facilities has been obtained for the first time.

Practical value the developed methodology for assessing the quality of functioning of artificial intelligence systems in special-purpose complexes and communication facilities based on transparent calculations made it possible to form objective conclusions about the success of a particular infocommunication system in fulfilling its intended functions.

REFERENCES

1. Guryшева, K. V. Neobhodimost' pravovogo regulirovaniya ispol'zovaniya sistem iskusstvennogo intellekta v istochnikah povyshennoj opasnosti / K. V. Guryшева // Juridicheskaja nauka: istorija i sovremennost'. – 2023. – № 8. – S. 102–114.

2. Shhitova, A. A. Pravovoe regulirovanie informacionnyh otnoshenij po ispol'zovaniyu sistem iskusstvennogo intellekta: special'nost' 12.00.13 "Informacionnoe pravo": dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata juridicheskikh nauk / Shhitova Anastasija Andreevna. – Moskva, 2022. – 225 s.

3. Karganov, V. V. Programma standartizacija, kak instrument razvitija vysokotehnologichnogo napravlenija

¹ Yevgeniy A. Dolmatov, Ph.D., Docent, Deputy Head for scientific work of the Federal State Budgetary Institution "16 Central Research Institute" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Mytishchi, Russia.

E-mail: mesterium@inbox.ru

² Danila S. Yagovitev, Ph.D., Laboratory Head of the Federal State Budgetary Institution "16 Central Research Institute" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Mytishchi, Russia.

E-mail: danila.yagovitev@mail.ru.

iskusstvennogo intellekta / V. V. Karganov, A. I. Karganova, M. S. Kos'janova // Innovacionnaja dejatel'nost' v vooruzhennyh Silah Rossijskoj Federacii: Trudy vsearmejskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Sankt-Peterburg, 13–14 oktjabrja 2022 goda. – Sankt-Peterburg: Federal'noe gosudarstvennoe kazennoe voennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovanija "Voennaja akademija svjazi imeni marshala Sovetskogo Sojuza S. M. Budennogo" Ministerstva Oborony Rossijskoj Federacii, 2022. – S. 184–190.

4. Mishhenko, T. L. Rol' iskusstvennogo intellekta v sovremennyh uslovijah / T. L. Mishhenko, A. A. Kartavenko // Innovacionnoe razvitie Rossii. Jekonomika i menedzhment v XXI veke: Sbornik nauchnyh trudov po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Moskva, 16 nojabrja 2023 goda. – Moskva: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "Rusajns", 2024. – S. 135–140.

5. Sistema iskusstvennogo intellekta dlja formirovanija kompozicij i prognozirovanija svojstv vtorichnyh polimernyh materialov / T. B. Chistjakova, I. V. Novozhilova, T. S. Goncharova, A. S. Razygraev // Iskusstvennyj intellekt v avtomatizirovannyh sistemah upravlenija i obrabotki dannyh: Sbornik statej II Vserossijskoj nauchnoj konferencii. V 5 tomah, Moskva, 27–28 aprelja 2023 goda. – Moskva: Izdatel'skij dom KDU, "Dobrosvet", 2024. – S. 285–290.

6. Chumachenko, A. A. Sistema intellektual'nogo upravlenija ob#ektom v uslovijah chastichnoj neopredeljonnosti / A. A. Chumachenko // Perspektivy molodjozhnoj nauki: Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Krasnojarsk, 25 dekabrja 2022 goda – 30 janvarja 2023 goda. – Krasnojarsk: Krasnojarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2023. – S. 176–179.

7. Chumachenko, A. A. Intelligent object control system in conditions of partial uncertainty / A. A. Chumachenko // Innovacionnye tendencii razvitija rossijskoj nauki: Materialy XVI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenyh, Krasnojarsk, 29–31 marta 2023 goda. – Krasnojarsk: Krasnojarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2023. – P. 828–831.

8. Adaptivnye sistemy upravlenija v sostave precizionnyh jelektromehaničeskikh ustrojstv / S. A. Bronov, O. V. Nepomnjashhij, A. A. Chumachenko [i dr.] // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehničeskie nauki. – 2023. – № 8. – S. 627–633. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-8-627-628.

9. Ispol'zovanie jekspertnyh sistem dlja povyšenija nadezhnosti radiojelektronnyh sistem ajeronavigacionnogo kompleksa / P. I. Kostenko, O. A. Safar'jan, I. A. Alferova, Ju. I. Najdenova // Aktual'nye aspekty razvitija logističeskikh kommunikacij: Rossijsko-armjanskij logističeskij forum. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Rostov-na-Donu, 17–27 nojabrja 2022 goda. – Rostov-na-Donu: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "DGTU-PRINT", 2023. – S. 200–206.

10. Parshikova, G. Ju. Poiski matematičeskogo apparata dlja modelirovanija imitacionnoj sistemy iskusstvennogo intellekta / G. Ju. Parshikova, A. A. Perfil'ev, A. A. Silaev // Aktual'nye problemy upravlenija – 2022 / Materialy 27-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Moskva, 23–24 nojabrja 2022 goda. Vypusk 1. – Moskva: Gosudarstvennyj universitet upravlenija, 2023. – S. 263–266.

11. Babanov V. N., Homjakov V. N. Princip naimen'shego dejstvija v jekonomičeskikh processah // Izvestija TulGU. Jekonomičeskie i juridičeskie nauki. 2017. №4–1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsip-naimenshego-deystviya-v-ekonomičeskikh-protsessah> ■

СИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ В ВООРУЖЕННЫХ КОНФЛИКТАХ СОВРЕМЕННОСТИ

Лукиянич В.Н.¹, Старков А.М.², Сарафанников В.С.³

Ключевые слова: структура, система управления, канал связи, информация, внешняя среда, технология, военные действия, принципы, компьютерные сети.

Цель исследования: Определить структуру и принципы построения телекоммуникационной сети с учётом её широкополосности на основе развития межвидовых связей и эффективного комплексного использования ресурсов множества распределённых и несовместимых устройств применяемого оборудования настоящего и будущего (перспективного).

Метод исследования: Аналитический с привлечением математического аппарата для определения пропускной способности телекоммуникационной сети с учётом входного трафика, количества линий связи между узлами коммутации и интенсивности потока заявок для обслуживания без блокировки.

Результат: исследования в области создания перспективной телекоммуникационной сети связи для управления войсками при высокой динамичности изменения обстановки, для принятия и реализации своевременных эффективных решений и обеспечения согласованности действий войск при их взаимодействии.

В результате проведенного анализа определены проблемные вопросы связанные с реализацией полностью связанной структуры системы связи с многочисленными взаимоувязанными средствами сете- и каналообразования при построении (создании) широкополосной высокоскоростной транспортной сети автоматизированных систем связи ВС, не только выстроенная по принципам их иерархий, но и с сильно развитыми межвидовыми связями, позволяющие осуществить вертикальную и горизонтальную интеграцию.

Проблемными вопросами являются интеграция и конвергенция различных видов и родов связи, включая информационный, системный и сетевой аспекты. Эти проблема преодолевается в рамках семиуровневой эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС) и регламентируется протоколами на всех уровнях ее организации.

Исходя из вышеизложенного, приведенной модели в статье приведены основные направления (принципы) организации телекоммуникационной сети в системном аспекте:

- обеспечение максимальной информационной емкости для удовлетворения типового трафика на линиях при поддержании требуемой пропускной способности за счет снижением загрузки каналов;
- обеспечение максимальной связности структуры, при которой повышается устойчивость системы, определяющаяся надежностью и живучестью ТКС. В данном случае задача топологического синтеза сети сводится к нахождению рациональной структуры, удовлетворяющей ограничениям при наименьших затратах;
- сеть должна быть изотропной, что предполагает загрузку каналов по возможности равномерной и не зависящей от направления передачи информации, что не только упрощает решение оптимизационных задач, но и согласуется с условиями возникновения перегрузок;
- поддержание и обеспечение малых (незначительных) потерь целевой информации, обладающей минимальной избыточностью (принцип минимальных потерь);
- использование в сети минимального объема буферной памяти, достаточный для оптимального согласования параметров трафика с параметрами каналов связи;
- обеспечение одновременного использования иерархического и сетевого взаимодействия;
- создание многоуровневого распределенного доступ к ресурсам;

Практическая полезность заключается в научно-технических предложениях по созданию перспективной ТКС на широкополосных линиях связи, а на основе приведенного математического аппарата провести оптимизацию пропускной способности сети через коэффициент загрузки канала с учетом входного трафика и степени времени задержки сообщений.

¹ Лукьянич Валентин Николаевич, кандидат военных наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: v-lukyanich@bk.ru

² Старков Артем Михайлович, кандидат технических наук, член Военно-научного комитета Главного управления связи Вооруженных Сил Российской Федерации, Москва. E-mail: starkov.am.spb@yandex.ru

³ Сарафанников Виталий Семенович, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: Sarafannikovs@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях, характеризующихся возрастанием вызовов национальной безопасности России, многовариантностью целей и задач, решаемых ее Вооружённых Сил (ВС) и высокой динамичностью изменения обстановки, для принятия и реализации своевременных эффективных решений и обеспечения согласованности действий войск требуется пересмотр принципов и подходов построения и применения телекоммуникационной компоненты системы управления и системы связи [1]. Комплексность современных угроз затрудняет решение проблем старыми методами. В этой связи все более актуальным и приоритетным направлением развития становится всесторонняя интеграция боевых формирований и повышение уровня их взаимодействия на основе создаваемого Единого информационного пространства ВС России и всех звеньев управления за счет реализации сетеориентированного подхода и интеграции оружия и его носителей, систем управления, связи и навигации, средств разведки и поражения.

Об этом свидетельствует опыт проведения специальной военной операции в составе развёрнутой системы связи ОГВ(с) развёрнуты сети, которые ранее не планировались: видеонаблюдения, межведомственного обмена, управления БПЛА, беспроводного широкополосного доступа и другие. В сетях для автоматизированного управления применяются абонентские терминалы на основе андроидов, ноутбуков со специальным программным обеспечением, маршрутизаторы. Все это потребовала динамика ведения боевых действий и особенности воздействия противника на средства и систему связи [2].

Однако в настоящее время имеется ряд проблемных вопросов в направлении создания ТКС и систем, действующих на принципах сетцентрического управления (СЦУ). Это, прежде всего, реализация полносвязной структуры системы связи с многочисленными взаимоувязанными средствами сете- и каналообразования, выстроенных по принципам их иерархий с сильно развитыми вертикальными и горизонтальными межвидовыми связями. Речь идет о создании технологической основы единого комплекса систем управления для всех видов и родов ВС РФ, способного охватить единым алгоритмическим пространством не только органы военного управления (ОВУ) Министерство обороны РФ, но и структуры оборонно-промышленного комплекса (ОПК) в способности к функциональной адапта-

ции и адекватно-пропорциональному реагированию в реальном времени в непрерывном спектре изменений оперативно-тактических и стратегических угроз.

В настоящее время многие разрабатываемые новые системы при всех их достоинствах и приближении к мировому уровню оказываются автономными и невстраиваемыми в единую бесшовную алгоритмическую среду единого информационного пространства ВС РФ, неспособными самосинхронизироваться (самоорганизоваться) при решении задач управления и достижении цели по сокращению времени цикла боевого управления в сетевой структуре. Особое значение имеет обеспечение устойчивого и надежного управления как существующими, так перспективными боевыми комплексами (ОНФП, РТК ВН, БПЛА), находящихся в любых средах (на земле, в воздухе, на воде и под водой) [3].

Все это требует:

расширения физических сред передачи информации и частотного диапазона, основанных на нетрадиционных физических принципах, обеспечения бесшовного соединения различных видов и типов ТКС и систем боевого управления Сухопутных войск, выстроенного не только по принципам их вертикальных иерархий по звеньям управления, но и с горизонтальными связями,

обеспечения высокой структурной связности с динамично перестраиваемой структуры (посредством управляемого конфигурирования геораспределенных ресурсов) в условиях воздействия агрессивной внешней среды в различных физических средах: атмосфера, космос, вода.

Перспективная ТКС должна обладать свойством семантической интероперабельности (способности любых прикладных систем одинаково понимать смысл информации, которой они обмениваются, даже если это не было предусмотрено при их создании) множества созданных информационных систем, и должны обеспечить управление оружием с учетом командной информации более старших звеньев управления.

Одна из проблем, возникающая при синтезе сложных информационных систем, заключается в появлении «проклятия размерности». Как показывают результаты исследований [4], реальные системы практически всегда неустойчивы по Ляпунову. Установлен статистически достоверный закон: если линейная динамическая система состоит из 10 или более переменных и ее связность выше 13%, то система неустойчива. Поэ-

тому при создании устойчивых информационных систем в ходе проводимых вычислений выделяются два процесса. Первый связан с непосредственными вычислениями текущих оценок качества поступающей информации об обстановке в режиме on-Line (он ограничен временем реакции системы на изменение обстановки, сложностью математического аппарата вычислений и заданным перечнем входных данных наблюдения). Второй процесс вычислений предназначен для формирования гипотез, правил, допущений и ограничений, обеспечивающих получение априорной информации (он ограничен замкнутым циклом расчетов, но отличается временем проведения вычислений – от момента поступления данных, до момента формирования рекомендаций). Цель второго процесса: обеспечение качества информации в первом процессе, поэтому их формирование заканчивается в момент завершения разработки новых знаний. Основное содержание второго процесса определяют данные, поступающие в систему от различных органов военного управления, которые уточняются по содержанию и объёму информации.

А поскольку ключевым системообразующим элементом системы управления являются средства связи, компьютерные и телекоммуникационные сети, обеспечивающие поддержание надежной работы всех элементов системы связи, необходимо рассмотреть основные проблемы их синтеза.

В настоящее время имеется ряд проблемных вопросов в направлении синтеза ТКС, «лежащих на поверхности» при создании системы управления (СУ). Это, прежде всего, реализация полносвязной структуры системы связи с многочисленными взаимоувязанными средствами сете- и каналообразования [1, 5]. Необходима широкополосная высокоскоростная транспортная сеть автоматизированных систем связи ВС, не только выстроенная по принципам их иерархий, но и с сильно развитыми межвидовыми связями, позволяющие осуществить вертикальную и горизонтальную интеграцию всех компонентов объединенных сил группировки. При этом широкополосная связность пространства должна достигать до мобильного высокоскоростного объекта. Основными требованиями при формировании такой «горизонтальной» интеграции являются: обеспечение необходимой пропускной способности каналов передачи данных; организация взаимодействия на любом уровне управления и другое. Главным принципом этой структуры ста-

новится обеспечение постоянной связи между любыми потребителями, в любое время, в любом месте (районе), в любой обстановке.

Развитие ТКС таковы, что до 30%...50% трафика составит видеотрафик, средняя скорость мобильных соединений вырастет в несколько раз, фактически, пропускная способность с точки зрения связи должна быть обеспечена по схеме «каждый с каждым». Потребности в пропускной способности в дальнейшем будут только возрастать. Кроме того, наращивание горизонтальной связности требует пересмотра общих принципов организации связи в сторону повышения роли связи взаимодействия, связи обеспечения боевых действий и связи оповещения (прежде всего межвидовых), наряду со связями боевого управления. Обмен разведывательной и оперативно-командной информацией в сетях управления должны обеспечить системы связи и обмена данными, строящиеся на сетевых принципах, но не как видовые, а как межвидовые открытые системы, позволяющие наращивать количество потребителей, независимо от их ведомственной принадлежности, места дислокации, выполняемых задач, в пределах их максимальной производительности.

Скорости и нагрузки это далеко не все самые «узкие» места в современных сетях связи. Проблемы есть и в управлении распределенными многоуровневыми ТКС. При этом современные инфокоммуникационные технологии работают на фундаменте, заложенном более 10 лет. Пропускная способность каналов связи уже приближается к насыщению не только в силу отставания в создании новых каналов, сколько из-за существующих методов и средств управления трафиком и в связи с тем, что архитектура современных ТКС не соответствует постоянно растущим требованиям [6]. И потому основным направлением совершенствования систем управления является создание интегрированных систем управления архитектурой сети, обеспечивающей реализацию единой информационно-управляющей структуры участников боевых действий на основе применения перспективных прорывных технологий.

Сетевая структура системы связи и системы обмена данными должна представлять собой необходимое количество узлов связи с автоматизированными коммутационными центрами и блоками управления на ЭВМ, объединенных радиорелейными, кабельными, оптоволоконными, спутниковым и другими линиями связи. Соответ-

ственно, и результатом конструирования является система, а не совершенствование отдельных средств с улучшенными по отношению к анти-средству характеристиками. А, следовательно, и подходить к созданию системы СЦУ надо как к качественно совершенно новой системе, предназначенной не столько для борьбы с отдельными средствами или их группой, а как к системе, предназначенной для разрушения всей системы нападения. Только объединив в единую систему все разнородные и разновидные объекты сил (средства разведки, поражения, системы управления и связи), на основе комплексирования их возможностей можно достичь главной цели – эффективного использования канального ресурса в интересах всех пользователей.

Проблемы интеграции и конвергенции различных видов и родов связи, включая информационный, системный и сетевой аспекты, в последние годы остаются самыми актуальными в области телекоммуникаций. Трудность решения этих проблем связана с двумя особенностями ТКС как информационно технических систем с коллективно используемыми ресурсами: географической рассредоточенностью ресурсов и абонентов сети, а также пульсирующим характером сетевого трафика. Первая особенность определяет высокую стоимость сетевых ресурсов при их эффективном использовании. В распределенной системе конкурирующие за ресурсы требования не могут самоорганизоваться в согласованную очередь без затрат на их упорядочение и управление. Поэтому система управления должна обеспечить коллективный доступ к ресурсам сети в режиме разделения времени, предоставляя их пользователям общий профиль трафика с определёнными требованиями, обеспечивая равномерное их использование в силу «сглаживающего эффекта», подчиняясь закону больших чисел. Это потребует применения метода коммутации с промежуточным накоплением (коммутации пакетов) [1, 7].

Таким образом общая задача создания телекоммуникационной среды состоит в достижении эффективного коллективного использования ресурсов множества несовместимых устройств географически распределенной системы, в которой запросы на доступ к ресурсам возникают от асинхронных процессов в существенно неравные промежутки времени. Из общей задачи вытекает третья особенность телекоммуникационных систем – разнородность оборудования и приме-

няемых сетевых технологий. Однако проблема совместимости различных устройств и унаследованных систем, преодолевается в рамках семиуровневой эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС) и регламентируется протоколами на всех уровнях ее организации.

Исходя из вышеизложенного и на основе исследований [1,4, 8], можно сформулировать основные принципы организации и планирования телекоммуникационной сети в системном аспекте.

1. Телекоммуникационная сеть должна иметь максимальную при заданных ограничениях информационную емкость (принцип максимальной емкости).

Модель сети представляется взвешенным графом G , состоящим из упорядоченного множества узлов коммутации (УК) z и соединяющих их линий h_{ij} , оба конца которых соединены с двумя УК i и j , где $ij = (l, k)$, k – общее число УК графа G . Каждому УК и линии ставятся в соответствие некоторые веса, например, m_i – число элементов буферной памяти. V_{ij} и F_{ij} – пропускная способность линии связи и соответственно поток в ней. Каждая линия может иметь некоторое число каналов n_{ij} в каждом направлении. Тогда в соответствии с формулой Литтла, справедливость которой в широком спектре применений доказана многочисленными экспериментами [1,9], запишем:

$$\gamma T_{зад} = \sum_{ii} N_{ij}, \quad (1)$$

где γ – общий трафик в сети; $T_{зад}$ – среднее время задержки пакетов в сети; l – общее число линий графа G ; N_{ij} – число сообщений на входе в каждый канал (линию связи).

Управление (1) справедливо при условии, что

$$W = \gamma T_{зад} = const, \quad (2)$$

и определяет стационарный режим работы сети, когда число сообщений (пакетов), поступающих в нее равно числу выходящих. Причем входной трафик равен выходному:

$$\gamma_{вх} T_{зад} = \gamma_{вых} T_{зад}. \quad (3)$$

При невыполнении условия (3) если $\gamma_{вх} T_{зад} > \gamma_{вых} T_{зад}$, информация накапливается, приводя сеть к блокировке, при $\gamma_{вх} T_{зад} < \gamma_{вых} T_{зад}$, каналы используются неэффективно.

Правая часть уравнения (1) фактически определяет информационную емкость сети:



Рис. 1. Основные принципы организации и планирования телекоммуникационной сети

$$W = \sum_{ij}^l N_{ij} \quad (4)$$

т.к. равна сумме всех сообщений в очереди и в каналах связи. Тогда в (4) вид функции

$$N_{ij} = f(\lambda_{ij}, \mu_{ij}, m_{ij}, n_{ij}) \quad (5)$$

определим как в системе массового обслуживания, моделирующей входы в каналы УК [12], где λ_{ij} и μ_{ij} – интенсивности потока заявок и их обслуживания. Тогда отношение

$$\chi = \frac{\lambda_{ij}}{n_{ij}\mu_{ij}} = \frac{L\lambda_{ij}}{L\mu_{ij}n_{ij}} = \frac{F_{ij}}{V_{ij}n_{ij}}, i, j = \overline{1, k} \quad (6)$$

в виде коэффициента загрузки канала [9], справедливо при фиксированной длине пакета L , так что в дальнейшем выражение (5) запишем в виде

$$N = f(\chi_{ij}, n_{ij}, m_{ij}). \quad (7)$$

Формула (1) является по существу единственным средством для решения на сетевом уровне ЭМВОС таких задач, как оптимизация пропускных способностей и распределение потоков в сети. Как следует из (2), рост входного трафика приводит к необходимости пропорционального снижения среднего времени задержки. Это достигается снижением загрузки каналов, что эквивалентно увеличению их пропускных способностей. При пульсирующем трафике сеть, рассчитанная на средние значения должна иметь максимальную информационную емкость для удовлетворения типового трафика. В качестве ограничения здесь выступает стоимость сети,

определяемая стоимостью каналов связи и задается одной из наиболее распространенных форм функций стоимости:

$$C = k \sum_{ij}^l V_{ij} \quad (8)$$

2. Телекоммуникационная сеть должна иметь максимальную при введенных ограничениях связность (принцип максимальной связности).

Поскольку связность графа определяется числом узлов и рёбер (линий) их соединяющих, то в полностью связной структуре всегда существует соединяющая линия для любой пары узлов (схема «каждый с каждым»). При такой структуре повышается устойчивость системы, определяющаяся надежностью и живучестью ТКС. Задача топологического синтеза сети сводится к нахождению рациональной структуры, удовлетворяющей ограничениям при наименьших затратах. Эта задача относится к теории потоков, примечательной особенностью которой является принципиальная невозможность решения большинства ее постановок, поскольку в них не применимы методы комбинаторики и перебора вариантов из-за многомерности числа вариантов топологий K_0 при заданном числе узлов коммутации:

$$K_0 = \sum_{l=V}^{l_0} C_{l_0}^l = \sum_{l=0}^{l_n} \frac{l_n!}{l!(l_n-l)!} \quad (9)$$

где $l_n = (k(k-1))/2$ – число ветвей полностью связной сети.

Полностью связная структура, описанная выражением (9), является единственной, которую можно построить при заданном числе узлов коммутации (УК) в ТКС и которую можно анализиро-

вать аналитическими методами, например, методами линейного программирования при выборе алгоритмов маршрутизации и решении задач распределения потоков в сети. Существующие понятия, что полносвязная сеть имеет высокую стоимость, опровергается выражением (6). Заданную стоимость поддерживают на постоянном уровне снижением пропускной способности каналов при одновременном увеличении числа линий связи до полносвязности. Это оправдано тем, что полносвязная структура исключает возможность переполнения буферов УК транзитными потоками трафика.

Высокая связность усиливает действие гипотезы Клейнрока о независимости, оправдывая применение моделей ТКС в виде системы массового обслуживания М/М/п (с пуассоновским характером трафика и экспоненциальным распределением времени обслуживания), когда в каждом узле сходятся потоки с 3-5 независимых направлений [1].

Однако применение полносвязных структур вряд ли будет оправдано при использовании широкополосных линий связи (волоконно-оптических, космических). В этом случае наиболее приемлем подход с поиском процедур, обладающих вычислительной эффективностью и удовлетворяющей графам, имеющим определенную регулярность с равноправными узлами в смысле топологии. Задача синтеза таких графов решается аналитически для любого числа УК при связности, не ниже заданной. Регулярные графы одинаковой связности неограниченны в наборе структур, и отличаются порядком следования путевых потоков относительно выделенных корреспондирующих УК.

3. Телекоммуникационная сеть должна быть изотропной (принцип изотропности).

Это предполагает, что загрузка каналов должна быть по возможности равномерной и не зависеть от направления передачи информации, что не только упрощает решение оптимизационных задач, но и согласуется с условиями возникновения перегрузок,

$$\chi = \frac{\lambda_{ij}}{n_{ij}\mu_{ij}} = \frac{F_{ij}}{V_{ij}n_{ij}} = const \quad (10)$$

Причем входной поток F_{ij} определяют априорно заданной матрицей тяготения между $|\lambda_{ij}|$ УК, а пропускная способность V_{ij} каналов должна иметь некоторой превышение над потоком для исключения блокировок ($\chi \leq 1$) и согласовываться с условием (6).

4. Телекоммуникационная сеть должна обеспечить малые потери целевой информации, обладающей минимальной избыточностью (принцип минимальных потерь). ТКС это распределенная динамическая система с ограниченными ресурсами. А при пульсирующем трафике высокое качество обслуживания пользователей обеспечить сложно. Принцип ориентирован на технологии, использующие в качестве транспортной магистрали среды с малым уровнем помех (волокно, космос), при которых оказывается возможным избежать необходимости регенерации и повторных передач (не хранить копии, не посылать подтверждений). В целях обеспечения временной прозрачности сети функции и объем заголовков ячейки ограничены технологически (принятой сетевой технологией). Основной функцией заголовка является идентификация виртуального соединения и обеспечение гарантии правильной маршрутизации при мультиплексировании виртуальных соединений в одном цифровом тракте, что позволяет совершенствовать алгоритмы кодирования и сжатия информации с целью уменьшения требуемой полосы пропускания.

5. Телекоммуникационная сеть должна использовать минимальный объем буферной памяти, достаточный для оптимального согласования параметров трафика с параметрами каналов связи (принцип гибкости).

Неконтролируемое использование накопителей для сглаживания трафика приводит к неограниченному росту очередей. Возникает ситуация, когда время задержки резко возрастает и ее величина становится зависимой от загрузки сети. Это приводит к нарушению масштаба времени и делает невозможным передачу online-трафика (телефонного, передачи данных, видеоконференцсвязи). Аналогичная ситуация возникает при недостатке буферов, когда при неконтролируемой нагрузке коммутатор просто отбрасывает пакеты, которые не в состоянии обработать, что делает невозможным передачу трафика данных, чувствительного к потере пакетов. Попытки компенсировать потери повторной передачей приводят к увеличению трафика и росту задержек, что делает также невозможным передачу сообщений. Минимизация потерь полосы пропускания при передаче информации, связанной с адресацией, приводит к дополнительной задержке. В [10] предложена методика оценки объема буферной памяти, ориентированная на технологии, использующие в качестве среды передачи широкополосные системы. Эти объемы необходимы лишь

для сглаживания трафика с целью оптимального согласования с параметрами сети и осуществления, в случае необходимости, обменных процессов. В этом случае предполагается иметь объем буфера вблизи области оптимальных решений.

6. Телекоммуникационная сеть должна гибко и быстро реагировать на изменение состояния ее элементов и внешней среды (принцип согласованности параметров).

Гибкость сети обеспечивается за счет того, что любой источник может генерировать информацию с той скоростью, которая ему необходима. Это дает возможность быстро реагировать на появление новых служб с еще неизвестными характеристиками. Все виды информации должны транспортироваться единым способом, что дает возможность их оптимального распределения путем статистического мультиплексирования и обеспечения высокой эффективности использования сетевых ресурсов. Так как все виды информации передаются одним методом, то это дает возможность организации, планирования, проектирования и ввода в эксплуатацию, а в дальнейшем – контроля, управления и технического обслуживания одной сети, что сокращает общие затраты на ее содержание. К таким сетям можно отнести разрабатываемую систему СЦУ.

7. ТКС должна обеспечивать одновременное использование иерархического и сетевого взаимодействия (принцип матричного взаимодействия).

Это важно при обеспечении бесшовного соединения и взаимодействия различных видов и типов ТКС и систем (авиации, сил флота и других), выстроенных не только по принципам их вертикальных иерархий (по звеньям управления), но и с горизонтальными связями.

8. ТКС должна обеспечивать многоуровневый распределенный доступ к ресурсам (принцип функциональной организации и доступа).

Принцип предполагает построение многоуровневой территориально распределенной ТКС, интегрирующей информационные ресурсы разных пользователей и систем, реализующих на основе унифицированных методов доступа к информации.

9. ТКС должна обеспечивать интеграцию

существующих и вновь создаваемых технологий (принцип эволюционного развития). Это предполагает создание ТКС путем интеграции унаследованных, существующих и вновь создаваемых информационных систем, информационных ресурсов и технологической инфраструктуры видов ВС и родов войск с возможностью обновления и увеличения ее функциональности, непрерывной адаптации к изменению обстановки, условиям ведения боя и информационным потребностям органов управления.

Использование регулярных структур в сочетании с принципом изотропности позволяет получить аналитическое решение большинства задач оптимизации сетевых ресурсов, что облегчает интерпретацию результатов решения. Поддержание объема буферной памяти УК вблизи области оптимального решения позволяет осуществить сглаживание трафика с целью согласования его статистических характеристик с параметрами сети и при необходимости, реализацию обменных процессов с соблюдением требований поддержания постоянства основных качественных показателей.

ВЫВОДЫ

В статье, на основе имеющихся проблем, связанных с увеличением входного трафика по видам информационного обмена, потребностей с увеличением скорости передачи и органов управления, обеспечение совместимости существующих и перспективных средств, назрела необходимость создать ТКС на основе широкополосных каналов связи. Для реализации такой задачи выбран математический аппарат, с помощью которого при оптимизации пропускной способности на линиях в сети связи учитывались: интенсивность входного трафика и его колебания (пульсации), накопления информации на передачу, распределение потока в сети, варианты топологии сети при обеспечении её полносвязности. На основании приведенных соотношений является возможность построить при заданном числе узлов коммутации ТКС с последующим решением задач распределения потоков в сети.

В статье определены основные направления (принципы), на которых должны реализовываться (развёртываться) перспективные телекоммуникационные сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В. Г. Основы построения и оценки эффективности функционирования системы связи специального назначения в международном вооруженном конфликте на основе многосферной и конвергентной структуры ее элементов: Монография. – СПб.: ПОЛИТЕХ, 2023. – 298 с.

2. Будко П.А., Чихачев А.В., Баринов М.А., Винограденко А.М. Принципы организации и планирования сильно-связанной телекоммуникационной среды специального назначения // Т-Сотт: телекоммуникации и транспорт 2013. Т.7. № 6. С. 8-12.

3. Попов И. М., Хамзатов М. М. Война будущего: концептуальные основы и практические выводы. Очерки стратегической мысли. – М.: Кучково поле, 2016. – 832 с.

4. Фурсов В. А. Лекции по теории управления / Самара: Издательство Самарского университета, 2021. – 136 с.: ил.

5. Иванов В. Г. Модель технической основы системы управления специального назначения в едином информационном пространстве на основе конвергентной инфраструктуры системы связи: Монография. – СПб.: СПбПУ, 2018. – 214 с.

6. Лукьянчик В.Н., Иванов В.Г., Заикин Р.В. Автоматизированная система контроля и управления узлом связи // В сборнике: Инновационные исследования молодых ученых и проблемы Индустрии 4.0. Сборник научных статей по материалам конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 75-82.

7. Калашников П.Н., Завьялов Ю.А., Старков А.М. Динамика управления трафиком конфигурируемых сетей в облачной инфраструктуре // В сборнике: ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ. СВЯЗЬ. материалы научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 286-291.

8. Макаренко С. И. Модели системы связи в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействий и ведения разведки / С. И. Макаренко. – Санкт-Петербург: Издательство «Наукоёмкие технологии», 2020. – 337 с. – ISBN 978-5-6044429-5-1. – EDN TGMVLY.

9. Системный анализ в проектировании и управлении: Сборник научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции. В 3-х частях, Санкт-Петербург, 13–14 октября 2021 года. Том Часть 1. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2021. – 556 с. – EDN COYNWY.

10. Затуливетер Ю.С., Семенов С.С., Николашин Ю.Л., Мирошников В.И, Будко П.А. Общий подход к формированию единого информационно-управляющего пространства морской компоненты Вооруженных Сил Российской Федерации. Часть II. Принципы формирования сильносвязанной телекоммуникационной подсистемы единого информационно-управляющего пространства военно-морского флота России // Морская радиоэлектроника. 2015 № 1 (51). С.22-28.

SYSTEM ASPECTS OF BUILDING TELECOMMUNICATION NETWORK IN MODERN ARMED CONFLICTS

Lukyanchik V. N.¹, Starkov A. M.², Sarafannikov V. S.³

Keywords: *structure, control system, communication channel, information, external environment, technology, military operations, principles, computer networks.*

Objective. *To determine the structure and principles of telecommunication network construction taking into account its broadband on the basis of development of interspecies links and effective complex use of resources of a set of distributed and incompatible devices of applied equipment of the present and future (prospective).*

Research method. *Analytical with the involvement of mathematical apparatus to determine the capacity of the telecommunications network taking into account the input traffic, the number of communication lines between switching nodes and the intensity of the flow of applications for service without blocking.*

The result *of research in the sphere of creating a promising telecommunication network for troop control at high dynamism of changes in the situation, for making and implementing timely effective decisions and ensuring the consistency of actions of troops in their interaction.*

As a result of the analysis, the problematic issues related to the implementation of a fully interconnected structure of the communication system with multiple interconnected network and channel-forming means in the construction (creation) of a broadband high-speed transport network of automated communication systems of the armed forces, not only built on the principles of their hierarchies, but also with strongly developed inter-service links, allowing for vertical and horizontal integration.

¹ Lukyanchik Valentin Nikolaevich, Candidate of Military Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Research Center of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: v-lukyanchik@bk.ru

² Artem Mikhailovich Starkov, Candidate of Technical Sciences, member of the Military Scientific Committee of the Main Directorate of Communications of the Armed Forces of the Russian Federation, Moscow. E-mail:starkov.am.spb@yandex.ru

³ Sarafannikov Vitaly Semenovich, Senior Researcher at the Scientific Research Center of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: Sarafannikovs@mail.ru

Integration and convergence of different types and genera of communications, including information, system and network aspects, are problematic issues. These problems are overcome within the framework of the seven-level reference model of open systems interaction and are regulated by protocols at all levels of its organization.

On the basis of the above mentioned model, the main directions (principles) of telecommunication network organisation in the system aspect are given in the article:

- *providing maximum information capacity to meet the typical traffic on the lines while maintaining the required throughput capacity by reducing the channel load;*
- *providing maximum connectivity of the structure, at which the stability of the system, determined by the reliability and survivability of the TCN, increases. In this case, the task of topological synthesis of the network is reduced to finding a rational structure that satisfies the constraints at the lowest cost;*
- *the network should be isotropic, which implies that channel loading should be as uniform as possible and independent of the direction of information transmission, which not only simplifies the solution of optimisation problems, but also agrees with the conditions of congestion occurrence;*
- *maintaining and ensuring small (insignificant) losses of the target information with minimal redundancy (principle of minimal losses);*
- *using in the network a minimum amount of buffer memory capacity for optimal matching of traffic parameters with the parameters of communication channels;*
- *ensuring simultaneous use of hierarchical and network interaction;*
- *creation of multilevel distributed access to resources.*

***Practical usefulness** and technical proposals on creation of perspective TCN on broadband communication lines, and on the basis of the given mathematical apparatus to carry out optimisation of throughput capacity of a network through a coefficient of loading of a channel taking into account input traffic and a degree of time of delay of messages.*

REFERENCES

1. Ivanov V. G. Osnovy postroenija i ocenki jeffektivnosti funkcionirovanija sistemy svjazi special'nogo naznachenija v mezhdunarodnom vooruzhenom konflikte na osnove mnogosfernoj i konvergentnoj struktury ee jelementov: Monografija. SPb.: POLITEH, 2023. 298 s.
2. Budko P.A., Chikhachev A.V., Barinov M.A., Vinogradenko A.M. Principles of organization and planning of a highly connected telecommunications environment for special purposes // T-Comm: telecommunications and transport 2013. Vol.7. No. 6. C. 8-12.
3. Popov I. M., Hamzatov M. M. Vojna budushhego: konceptual'nye osnovy i prakticheskie vyvody. Oчерki strategicheskoy mysli. M.: Kuchkovo pole, 2016. 832 s.
4. Fursov V. A. Lekcii po teorii upravlenija / Samara: Izdatel'stvo Samarskogo universiteta, 2021. 136 s.
5. Ivanov V. G. Model' tehniceskoy osnovy sistemy upravlenija special'nogo naznachenija v edinom informacionnom prostranstve na osnove konvergentnoj infrastruktury sistemy svjazi: Monografija. SPb.: SPbPU, 2018. 214 s.
6. Luk'janchik V.N., Ivanov V.G., Zaikin R.V. Avtomatizirovannaja sistema kontrolja i upravlenija uzlom svjazi // V sbornike: Innovacionnye issledovanija molodyh uchenyh i problemy Industrii 4.0. Sbornik nauchnyh statej po materialam konferencii. Sankt-Peterburg, 2024. S. 75–82.
7. Kalashnikov P.N., Zav'jalov Ju.A., Starkov A.M. Dinamika upravlenija trafikom konfiguriruemyh setej v oblachnoj infrastrukture // V sbornike: TEHNOLOGII. INNOVACII. SVJaZ". materialy nauchno-prakticheskoy konferencii. Sankt-Peterburg, 2023. S. 286-291.
8. Makarenko, S. I. Modeli sistemy svjazi v uslovijah prednamerennyh destabilizirujushhijh vozdejstvij i vedenija razvedki / S. I. Makarenko. – Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo «Naukoemkie tehnologii», 2020. 337 s. ISBN 978-5-6044429-5-1.– EDN: TGMVLY.
9. Sistemnyj analiz v proektirovanii i upravlenii: Sbornik nauchnyh trudov XXV Mezhdunarodnoj nauchnoj i uchebno-prakticheskoy konferencii. V 3-h chastjah, Sankt-Peterburg, 13–14 oktjabrja 2021 goda. Tom Chast' 1. – Sankt-Peterburg: Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovanija "Sankt-Peterburgskij politehnicheskij universitet Petra Velikogo", 2021. – 556 s. – EDN COYNWY.
10. Zatuliveter Y.S., Semenov S.S., Nikolashin Y.L., Miroshnikov V.I., Budko P.A. A general approach to the formation of a unified information and control space of the marine component of the Armed Forces of the Russian Federation. Part II. Principles of formation of a highly connected telecommunications subsystem of the unified information and control space of the Russian Navy // Marine radio electronics. 2015 No. 1 (51). S.22-28. ■

МЕТОДИКА РАБОТЫ ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ ПО СВЯЗИ ОБЪЕДИНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ И ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ И СРЕДСТВАХ СВЯЗИ

Савицкий А. Ю.¹

Ключевые слова: система управления связи, организационное управление, оперативно-техническое управление, технологическое управление, планирование, цифровой двойник.

Цель исследования: разработать вариант работы должностных лиц по связи объединения Вооруженных сил Республики Беларусь, обеспечивающий повышение оперативности планирования и постановки задач на обеспечение связи с качеством не хуже требуемого.

Метод исследования: теоретический и эмпирический анализ, моделирования и сравнения

Результат: в исследовании рассматривается актуальная проблема повышения эффективности работы должностных лиц по связи объединения Республики Беларусь. Особое внимание уделяется методике работы с использованием технологии цифровых двойников. Проведён анализ существующих методов работы, выявлены их недостатки и предложены пути оптимизации. Результаты исследования подтверждают, что применение цифровых двойников значительно улучшает качество планирования и детализации задач на обеспечение связи, повышая оперативность и точность работы системы управления.

Научная новизна: исследования заключается в разработке и внедрении инновационной методики работы должностных лиц по связи объединения Республики Беларусь, основанной на использовании технологии цифровых двойников. Это позволяет существенно повысить эффективность планирования и постановки задач на обеспечение связи, что является новым подходом к решению проблемы оптимизации работы системы управления.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование процесса выполнения задач операции войсками связи, а также анализ методов и характера воздействия противника позволили сделать вывод о том, что планирование системы связи, особенно её полевой составляющей, представляет собой непрерывный процесс, который осуществляется в течение всего времени функционирования пунктов управления (ПУ). Динамика перемещения оперативных групп ПУ в зоне боевых действий требует от органов управления связью постоянной корректировки действующей сети передачи данных в режиме реального времени. При этом сеть, адаптирующаяся к изменениям физической и логической структур в соответствии с текущей оперативной обстановкой, должна обеспечивать выполнение требований по своевременности и качеству передачи информации при минимизации времени на реализацию. Таким образом, можно утверждать, что на протяжении всего времени функциониро-

вания ПУ должностные лица непрерывно осуществляют работу по обеспечению связи.

ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ. ПЛАНИРОВАНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ СВЯЗИ

Одним из основных элементов системы связи является ее система управления, которая представляет собой совокупность функционально и организационно связанных между собой органов, пунктов и средств управления, на организационном, оперативно-техническом и технологическом уровнях (рис.1) [1].

Система связи (СС) является неотъемлемой частью любой системы управления, обеспечивая обмен информацией между различными элементами системы.

СС объединений и соединений Вооруженных сил Республики Беларусь (РБ) характеризуются высокой сложностью. К числу наиболее важных процессов управления связью относятся

¹ Савицкий Алексей Юрьевич, адъюнкт кафедры организации связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: savialehey7@mail.ru

планирование связи, на основе которого осуществляется постановка задачи подчиненным на выполнение поставленных задач. В настоящее время, наиболее сложным является вопрос постановки задачи на настройку телекоммуникационного оборудования, так как для каждого необходимо разработать свой комплект данных по связи. Кроме того, чтобы обеспечить функционирование необходимо спланировать не только физическую связность оборудования между собой, но и логические структуры, создаваемых сетей связи [2].

В соответствии с [3] и организацией процессов управления связью при планировании и постановке задач на обеспечение связи можно выделить три уровня модели системы управления СС с учетом влияющих факторов, каждый из которых решает определенные задачи (рис 2).

При использовании традиционного метода планирования [3,4]:

- на организационном уровне: начальник связи определяет общую структуру сетей связи и ставит задачу подчиненным в виде боевого распоряжения с приложениями, где должны присутствовать данные по связи;
- на организационно-техническом уровне командир полка связи и штаб, получив боевое распоряжение, детализируют данную задачу в виде разработки общей схемы-приказа на узлы связи с приложениями; командир подразделения готовит схемы-приказы на боевые посты;
- на технологическом уровне механик аппаратной связи по полученным схемам-приказам и технологическим картам осуществляет настройку телекоммуникационного оборудования.

Настройка телекоммуникационного оборудования в соответствии со спланированными логическими структурами является ключевым этапом в обеспечении эффективной работы системы связи.

Логические структуры представляют собой основу для организации и управления потоками данных, ресурсами и функциями системы. Они позволяют разделить систему на отдельные модули, каждый из которых выполняет определённые задачи, что упрощает управление, поддержку и модернизацию системы.

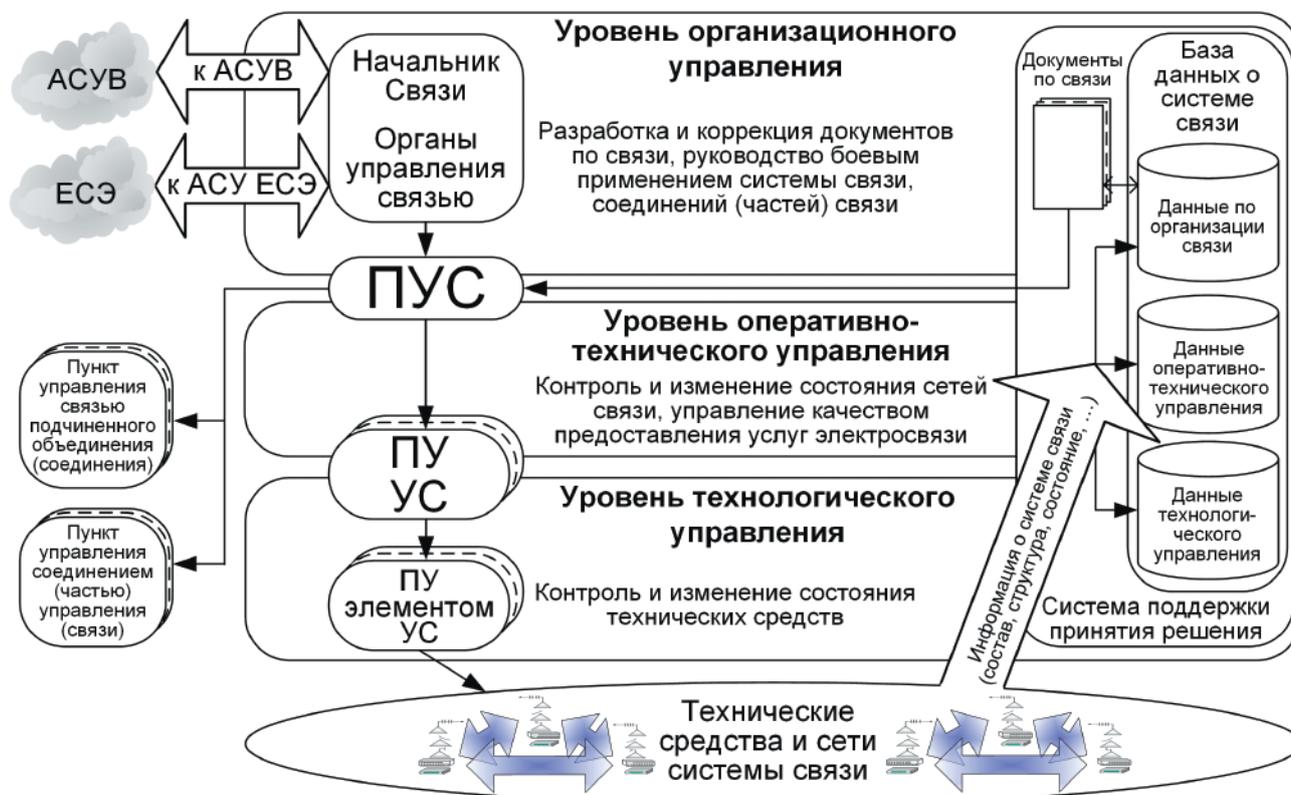


Рис.1. Структуры системы управления связи объединения



Рис.2. Модель системы управления связью объединения

Сложность применения логических структур в системе связи требует особого внимания к следующим аспектам (рис.3):

- применение логических структур в системе связи требует тщательной проработки таких аспектов, как:
 - определение IP-адресов для каждого порта телекоммуникационного оборудования;
 - проверка MAC-адресов на наличие петель;
 - настройка маршрутизации с учётом номеров автономных систем и MAC-адресов;
 - организация VPN-туннелей, взаимодействие между клиентским терминальным оборудованием и серверами связи;
 - настройка алгоритмов передачи разнородного трафика и правил фильтрации и другие.

Методология формирования логических структур сетей связи с разработкой комплекта данных по связи для узла связи в целом и телекоммуникационного оборудования в частности, на сегодня является нерешенной задачей и представляет собой серьезную проблему.

Разработка документов оперативно-технической службы, таких как схемы-приказ является крайне сложными для исполнения. Возникают значительные временные затраты и необходимость привлечения большого количества специалистов, что не позволяет максимально использовать все возможности оборудования и обеспечивать требуемое качество при предоставлении услуг связи должностным лицам (ДЛ).

Успешное и своевременное выполнение задач по точной и комплексной конфигурации телекоммуникационного оборудования может быть достигнуто благодаря применению технологии цифровых двойников (ЦД). Применение технологии ЦД позволяет в имитационной модели создать виртуальную сеть передачи данных системы связи объединения, которая будет соответствовать реальной.

Адекватность результатов моделирования, полученных с использованием программных образов реального телекоммуникационного оборудования, установленного в аппаратных связях, проверены при помощи теста Шапиро–Уилка (рис.4).

Адресная структура	До каждого порта телекоммуникационного оборудования должны быть определены IP-адреса с маской сети (в рамках общих правил назначения адресов).
Структура маршрутизации (статическая, динамическая)	Необходимо провести проверку MAC (IP) - адресов на предмет отсутствия «петель». При BGP-4 (протоколах динамической маршрутизации): номер автономной системы каждого маршрута, MAC (IP)-адреса сети при организации маршрутизации для каждой пары маршрутизаторов. При OSPF: определение весового коэффициента каждого маршрутизатора в масштабе сети.
Структура VPN - туннелей	Организация взаимодействия между сервером и оконечным устройствами. Ввод ключевых документов в оконечное оборудование
Логические структуры по видам (услугам) связи	Организация взаимодействия между клиентским терминальным оборудованием по виду связи и серверов связи с точки зрения настройки конфигурационных файлов оконечного оборудования.
Структура очередей и правила приоритизации при передаче трафика с учетом его важности	Определение алгоритмов передачи разнородного трафика для каждого узла связи и настройка телекоммуникационного оборудования.
Настройка правил фильтрации согласно структуры информационного обмена	Настройка структуры информационного обмена: IP-адреса сетей отправителя (получателя), типы используемых протоколов, номера логических портов транспортного уровня.

Рис.3. Перечень основных настроек логических структур системы связи

```
import scipy.stats as stats
# Применение теста Шапиро-Уилка
def shapiro_wilk_test(data):
    stat, p_value = stats.shapiro(data)
    return stat, p_value
# Данные для интервалов
data_10_15 = [10,12, 14, 10,15, 13, 11, 12, 13, 15, 14, 11, 10, 12, 15, 14, 13, 14, 12, 15]
data_10_20 = [10, 15, 17, 12, 14, 19, 10, 16, 20, 13, 11, 18, 12, 15, 19, 14, 11, 16, 20, 10]
data_10_25 = [10, 20, 15, 12, 14, 22, 11, 16, 25, 13, 18, 21, 10, 17, 24, 19, 11, 23, 12, 15]
data_10_30 = [10, 20, 25, 15, 14, 22, 13, 18, 28, 11, 17, 21, 26, 12, 29, 24, 19, 16, 27, 23]
data_10_40 = [10, 20, 35, 15, 14, 22, 13, 18, 28, 11, 17, 21, 26, 12, 30, 24, 19, 16, 27, 23]
# Применение теста Шапиро-Уилка
shapiro_10_15 = shapiro_wilk_test(data_10_15)
shapiro_10_20 = shapiro_wilk_test(data_10_20)
shapiro_10_25 = shapiro_wilk_test(data_10_25)
shapiro_10_30 = shapiro_wilk_test(data_10_30)
shapiro_10_40 = shapiro_wilk_test(data_10_40)
(shapiro_10_15, shapiro_10_20, shapiro_10_25, shapiro_10_30, shapiro_10_40)
```

Рис.4. Вариант применения теста Шапиро-Уилка в среде программирования Python

Результаты проверки для вариантов интервалов отклонения (10-15, 10-20, 10-25, 10-30 и 10-40 минут) представлены ниже.

Тест Шапиро-Уилка для всех указанных интервалов не отвергает нулевую гипотезу о нормальности распределения данных, это действительно указывает на адекватность модели.

После проведения моделирования конфигурационные файлы виртуального оборудования загружаются в реальное, согласно его месту, в сети.

Interval	Statistic	P-value
10-15 мин.	0.912	0.071
10-20 мин.	0.928	0.141
10-25 мин.	0.936	0.203
10-30 мин.	0.960	0.551
10-40 мин.	0.972	0,787

Рис.5. Результаты применения теста Шапиро-Уилка

В ходе имитационного моделирования условно возможно выделить четыре этапа [5]:

1. Моделирование сети связи в имитационной модели.
2. Тестирование сети связи по показателям эффективности.
3. Подготовка конфигурационных файлов оборудования в виртуальной модели.
4. Загрузка конфигурационных файлов виртуального оборудования в реальное, согласно его места в сети.

Применение данного метода позволяет достичь серьезного эффекта, а именно:

- Происходит сокращение времени на подготовку телекоммуникационного оборудования к обеспечению связи более чем в 20 раз. Причем чем больше размерность сети, тем выше будет получаемый эффект.
- Значительно уменьшается вероятность ошибки при настройке оборудования, так как проводится тестирование сети в имитационной модели.

Таким образом ЦД представляет собой программно-аппаратный комплекс, описывающие поведение реальных объектов или систем в различных условиях обстановки. Они применяются для прогнозирования этого поведения и оптимизации работы соответствующих органов управления или систем.

Работа должностных лиц с использованием ЦД направлена не на разработку бумажных документов, а на точный ввод исходных данных и анализ полученных расчетных результатов в виде конфигурационных файлов.

МЕТОДИКА РАБОТЫ ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ ПО СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Методика работы должностных лиц по связи с использованием технологии цифровых двойников включает следующие этапы:

Определение целей и задач связи: Должностные лица определяют цели и задачи связи, которые должны быть достигнуты с помощью цифровых двойников. Это включает в себя анализ потребностей в связи, определение требований к качеству связи и выбор соответствующих технологий.

Создание цифрового двойника: На этом этапе разрабатывается виртуальный прототип системы связи, который будет использовать-

ся для моделирования и тестирования различных сценариев. Цифровой двойник должен точно отражать реальные характеристики системы связи, включая её топологию, оборудование и протоколы.

Моделирование и тестирование: с помощью цифрового двойника проводится моделирование различных сценариев связи, включая изменение нагрузки, отказ оборудования и воздействие внешних факторов. Это позволяет оценить эффективность системы связи и выявить потенциальные проблемы до их возникновения в реальной системе.

Анализ результатов: После проведения моделирования и тестирования результаты анализируются должностными лицами по связи. Определяются слабые места системы связи и предлагаются меры по их устранению.

Планирование и постановка задач: На основе анализа результатов моделирования и тестирования должностные лица планируют мероприятия по обеспечению связи и ставят задачи подразделениям связи. Задачи могут включать модернизацию оборудования, изменение конфигурации системы связи.

Реализация плана: Подразделения связи выполняют поставленные задачи, используя результаты моделирования и тестирования для оптимизации своих действий.

Мониторинг и корректировка: После реализации плана должностные лица продолжают мониторинг системы связи, используя цифровой двойник для выявления возможных проблем и корректировки действий подразделений связи.

Задача исследования предполагает обеспечение повышения оперативности планирования и постановки задач на обеспечение связи с качеством не хуже требуемого.

Исходными данными для формирования вариантов организации планирования и постановки задач являются:

- методы работы, принятые в штабе объединения, определяющие количество работ;
- требования по срокам подготовки и проведения операции;
- решение начальника связи на распределение должностных лиц по связи.

На основании исходных данных строятся сетевые модели работы должностных лиц при планировании связи и постановке задач на обеспечение связи.

Детализация методики работы должностных лиц по связи, учитывающая формирование логических структур при планировании и поста-

новке задач при традиционном планировании включает (рис 6):

1. Формирование структуры сети передачи данных (СПД) (схем, таблиц распределения IP-адресов).
2. Формирование предложений на организацию СПД, их рассмотрение и утверждение.
3. Разработка распоряжения по связи с приложениями.
4. Выработка решения на применение подчинённых подразделений связи по организации СПД, утверждение его у вышестоящего начальника.
5. Разработка распорядительных документов применения подчинённых подразделений связи (схемы-приказы, данные по связи, таблицы рас-

пределения IP-адресов) и их доведение.

6. Разработка документов оперативно-технической службы на узлах связи.
7. Подготовка технологических карт для настройки телекоммуникационного оборудования аппаратных связи (по числу аппаратных).
8. Настройка телекоммуникационного оборудования (ТКО) в соответствии с технологическими картами (по числу аппаратных (N), с учётом подготовленных специалистов (M)).

Методики работы должностных лиц по связи, учитывающая формирование логических структур при планировании и постановке задач с применением технологии цифровых двойников включает (рис 7):



Рис.7. Методика работы должностных лиц при планировании и постановке задач на обеспечение связи с использованием технологии цифровых двойников

1. Формирование структуры СПД (схем, таблиц распределения IP-адресов).
 2. Формирование предложений на организацию СПД, их рассмотрение и утверждение.
 3. Нанесение элементов СПД в виртуальной лаборатории.
 4. Формирование адресной структуры СПД (применение встроенных программ и «библиотечных образов» ТКО).
 5. Тестирование параметров сформированной СПД.
 6. Формирование конфигурационных файлов.
 7. Передача конфигурационных файлов на ТКО.
 8. Загрузка конфигурационных файлов в реальное ТКО.
- Использование методики работы долж-

ностных лиц при планировании и постановке задач(ПЗ) на обеспечение связи с использованием технологии цифровых двойников позволяет значительно повысить эффективность планирования и обеспечения связи, снизить риски возникновения проблем и ускорить процесс принятия решения (рис 8.)

Исследование системы управления объединения и методики работы должностных лиц по связи, учитывающие формирование логических структур позволило определить длительности цикла управления и выявления способности системы выполнять планирование и постановку задач на обеспечение связи в условиях допустимого времени и сделать вывод, что при существующих методах работы штабов при планировании связи невозможно обеспечить своевременную постановку задач на обеспечение связи с требуемым качеством (требуемой степенью детализации).



Рис.8. Сравнительный анализ, затраченного времени должностными лицами при планировании и постановке задач с(без) использования технологии цифровых двойников

Использование методики работы должностных лиц по связи объединения Республики Беларусь с применением технологии цифровых двойников является актуальным решением, поскольку позволяет эффективно планировать и обеспечивать связь, учитывая длительность цикла управления и способность системы выполнять задачи с требуемым качеством и степенью детализации. Это особенно важно в условиях современного мира, где оперативность и точность играют ключевую роль.

ВЫВОДЫ

В процессе исследования системы управления объединения и методики работы должностных лиц по связи, мы использовали комплексный подход, включающий в себя:

Теоретический анализ – изучение и анализ существующей литературы и исследований по теме, что позволило сформировать теоретическую базу для дальнейшего исследования.

Эмпирический анализ – сбор и анализ данных о существующих методиках работы должностных лиц по связи, включая анализ длительности цикла управления и способности си-

стемы выполнять задачи с требуемым качеством.

Метод моделирования – создание модели системы управления для оценки ее эффективности и определения возможных улучшений.

Метод сравнения – сравнение существующих методик работы с предлагаемой методикой работы с использованием технологии цифровых двойников для выявления преимуществ последней.

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

Существующие методы работы штабов при планировании связи не позволяют обеспечить своевременную постановку задач на обеспечение связи с требуемым качеством.

Методика работы должностных лиц по связи объединения Республики Беларусь с использованием технологии цифровых двойников является актуальной и применимой, так как позволяет повысить эффективность планирования и обеспечения связи.

Применение технологии цифровых двойников способствует улучшению качества планирования и детализации задач на обеспечение связи, что в свою очередь повышает оперативность и точность работы системы управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В. Г. Основы построения и оценки эффективности функционирования системы связи специального назначения в международном вооруженном конфликте на основе многосферной и конвергентной структуры ее элементов: Монография. – СПб.: ПОЛИТЕХ, 2023. – 298 с.
2. Падишин С.А., Сазыкин А.М., Даньшин С.С., Грищенко К.А. Имитационное планирование системы связи специального назначения на основе применения технологии цифровых двойников // Вопросы оборонной техники. – 2022. № 16. – С. 48–55.

3. Иванов В. Г., Астахов А. И., Кривцов С. П. [и др.] Тенденции технического развития системы связи группировки войск (сил) // Стратегическая стабильность. – 2020. – № 3/92. – С. 39–43.
4. Копичев О. А., Николаев А. Е. Современные войны: анализ тенденций развития межгосударственного противоборства, классификация форм и способов борьбы, формирование признаков и критериев военного конфликта // Системы управления, связи и безопасности. – 2021. – № 1. – С. 1–32.
5. Боговик А. В., Игнатов В. В. Теория управления в системах военного назначения. – СПб. ВАС. 2008. – 468 с.
6. Ермишян А. Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях: в 3 частях // Военная академия связи. СПб., 2005. Ч. 1: Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи. – 740 с.
7. Падишин С.А., Литвинов А.И., Манаков К.О., Шешуков А.С., Курочка В.А. Имитационное планирование системы связи объединения на основе применения виртуальной сетевой лаборатории EVE-NG // Известия РАРАН. Выпуск 5 (115), СПб.: РАРАН, 2020 г., 148-157 стр.
8. Бегаев А.Н., Стародубцев Ю.И., Фёдоров В.Г. Методика оценки управляемости фрагмента сети связи общего пользования с учетом влияния множественности центров управления и деструктивных программных воздействий // Вопросы кибербезопасности. – 2017. – № 4 (22). – С. 32–39.

WORK METHODOLOGY OF COMMUNICATION OFFICIALS OF THE ASSOCIATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS IN PLANNING AND SETTING TASKS TO ENSURING COMMUNICATIONS USING DIGITAL TWIN TECHNOLOGY

Savitsky A. Yu. ¹

Keywords: communication management system, organizational management, operational and technical management, technological management, planning, digital twin.

Objective of the study. To develop a variant of work of officials on communications of the association of the Armed Forces of the Republic of Belarus, ensuring increase of efficiency of planning and setting of tasks on provision of communications with the quality not worse than required.

Research method. Theoretical and empirical analysis, method of modeling and comparison.

Result. The study considers the actual problem of increase of efficiency of work of officials on communications of the association of the Republic of Belarus. Particular attention is paid to the methodology of work using the technology of digital twins. The analysis of the existing methods of work was conducted, their shortcomings were revealed and ways of optimization were proposed. The results of the study confirm that the use of digital twins significantly improves the quality of planning and detailing of tasks on provision of communications, increasing efficiency and accuracy of the control system.

The scientific novelty of the study lies in the development and implementation of an innovative methodology for the work of officials on communications of the association of the Republic of Belarus, based on the use of digital twin technology. This allows to significantly increase the efficiency of planning and setting tasks for ensuring communications, which is a new approach to solving the problem of optimizing the operation of the management system.

REFERENCES

1. Ivanov V. G. Fundamentals of the Design and Efficiency Evaluation of a Special Purpose Communication System in an International Armed Conflict Based on a Multispherical and Convergent Structure of Its Elements: Monograph. – St. Petersburg: POLITECH, 2023. – 298 p.
2. Padishin S.A., Sazykina A.M., Danshin S.S., Grishchenko K.A. Simulation Planning of a Special Purpose Communication System Based on the Application of Digital Twin Technology. Defense Technology Issues. – 2022. No. 16. – pp. 48–55.
3. Ivanov V. G., Astakhov A. I., Krivtsov S. P. [et al.] Trends in the Technical Development of the Communication System of a Troop (Force) Grouping // Strategic Stability. – 2020. – No. 3/92. – pp. 39–43.

¹ Alexey Y. Savitsky, Adjunct of the Department of Communications of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: savialexy7@mail.ru

4. Копичев О. А., Николаев А. Е. Modern Wars: Analysis of the Development Trends of Interstate Confrontation, Classification of Forms and Methods of Struggle, Formation of Signs and Criteria of Military Conflict // Control Systems, Communications and Security. – 2021. – No. 1. – pp. 1–32.
5. Bogovik A. V., Ignatov V. V. Theory of Management in Military Systems. – St. Petersburg: VAS, 2008. – 468 p.
6. Ermishyan A. G. Theoretical Foundations for the Design of Military Communication Systems in Formations and Units: Textbook: in 3 parts. VAS; A. G. Ermishyan. – St. Petersburg, 2005. – Part 1: Methodological Foundations for the Design of Organizational and Technical Military Communication Systems. – 740 p.
7. Padishin S.A., Litvinov A.I., Manakov K.O., Sheshukov A.S., Kurochka V.A. Simulation Planning of a Formation's Communication System Based on the Application of the EVE-NG Virtual Network Laboratory. Proceedings of RARAN. Issue 5 (115), St. Petersburg: RARAN, 2020, pp. 148-157.
8. Begaev A.N., Starodubtsev Y.I., Fedorov V.G. Methodology for Assessing the Manageability of a Fragment of a Public Communication Network Considering the Influence of Multiple Control Centers and Destructive Software Impacts // Cybersecurity Issues. – 2017. – No. 4 (22). – pp. 32–39. ■

ПОСТРОЕНИЕ ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ АЭРОПЛАТФОРМ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Карпов М. А.¹, Лукьянчик В. Н.², Васильева Т. Г.³

Ключевые слова: спутниковая связь, сеть связи, объект связи, поток сообщений, аэростат, дирижабль, устойчивость, канальная ёмкость, управление.

Цель исследования: Разработать научно-технические предложения построения инфотелекоммуникационной сети в Арктической зоне на основе аэроплатформ при применении современных и перспективных технологий для управления разнородной группировкой войск, дислоцированной в морской зоне и сухопутной части вновь созданного Ленинградского военного округа.

Метод исследования: Аналитический с частичным привлечением математического аппарата для определения зоны прямой видимости для средств УКВ диапазона частот и зоны покрытия территории (района боевых действий) поднятого ретранслятора связи, находящегося на аэроплатформе.

Результат исследования: в области построения инфотелекоммуникационной сети на основе аэроплатформ различного назначения при их развёртывании (подъёме) в зоне действия войск в пунктах постоянной дислокации и при выполнении боевых задач по предназначению.

По результатам исследований выявлено:

- в подчинение Ленинградского военного округа перешли войска, размещённые на островах Северного ледовитого океана Арктической зоны РФ;
- имеющееся (созданное) в АЗ РФ информационное поле не имеет необходимой глубины построения, носит очаговый характер и не обеспечивает выполнение задач военного управления в необходимом объеме;
- существующая система связи в АЗ РФ по своей структуре, канальной ёмкости и устойчивости не соответствует потребностям системы управления развёрнутой группировки войск (сил);
- значительные расстояния пунктов управления воинских частей от штаба ВО, а также между островами определяют необходимость развёртывать линии связи беспроводными средствами связи, в том числе и средства беспроводного доступа, размещённых на аэроплатформах (аэростатах, дирижаблях, БПЛА).

В статье в теоретическом плане обосновано построение инфотелекоммуникационной сети на основе высокоподнятых аэроплатформ с возможностью передачи значительных потоков информации в пределах зоны обслуживания, а также широкополосного беспроводного доступа (ШБД) подвижных (мобильных) абонентов на основе технологий из опыта их применения в СВО.

В статье приведены практические рекомендации по высоте подъёма аэроплатформ для создания зоны покрытия требуемой площади (размера) в зависимости от необходимости обеспечения связи воинских формирований, размещённых на определённой территории.

Формируемая телекоммуникационная инфраструктура в АЗ РФ создаётся как совокупность беспроводных телекоммуникационных средств для предоставления информационных, навигационных и других услуг на основе беспроводных транспортных сетей и сетей абонентского доступа. В качестве технологий беспроводного широкополосного доступа могут найти применение такие, как Wi-Mix, Wi-Fi, LTE-450, Mc-WiL, из опыта развёртывания сетей БШГД в СВО.

¹ Карпов Михаил Андреевич, кандидат технических наук, начальник отдела научно-исследовательского центра Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: Karpuh.djan@mail.ru

² Лукьянчик Валентин Николаевич, кандидат военных наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: v-lukyanchik@bk.ru

³ Васильева Татьяна Геннадьевна, научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург.

Практическая ценность исследования: определяется глубиной обоснования и рассмотрения особенностей создания телекоммуникационной системы на основе высокоподнятых аэроплатформ в составе аэростатов (дирижаблей) и телекоммуникационного оборудования для обеспечения пользователям возможности передачи значительных потоков информации в пределах зоны обслуживания, а также широкополосного беспроводного доступа в Арктической зоне со слабо развитой инфраструктурой в отношении связи Ленинградского военного округа.

ВВЕДЕНИЕ

Арктика – обширная область северного полушария, площадью около 25 млн. кв. км, из которых 15 млн. кв. км приходится на водные пространства. К ней относятся сектор Северного Ледовитого океана с окраинными морями – Баренцевым, Карским, Лаптевых, Восточно-Сибирским, Чукотским, многочисленные острова и архипелаги, прибрежная полоса континентальной части Евразийского материка.

Для Министерства обороны пространство в Арктической зоне (АЗ) представляет особую значимость в рамках обеспечения безопасности северных границ Российской Федерации, В морской зоне (на островах), прибрежной полосе вдоль Северного Ледовитого океана и на сухопутной части развёрнуты силы с средства Ленинградского военного округа получившего статус 1 марта 2024 года Указом Президента Российской Федерации №141.

Расстояния между штабами объединений, соединений и воинских частей в ряде случаев достигает сотен километров, что создаёт определённые трудности для функционирования системы управления в Арктической зоне Российской Федерации (АЗ РФ). Причиной этому является недостаточная развитость системы связи в прибрежной полосе вдоль Северного Ледовитого океана, на островах, где развёрнуты военные базы, а также между базами различных островов [1,2].

Развернутая в настоящее время в АЗ система связи не имеет необходимой глубины построения, носит очаговый характер и не обеспечивает выполнение задач военного управления в необходимом объеме [3,4].

Для обеспечения решения задач в интересах эффективного управления войсками и оружием, обеспечения повседневной деятельности войск, их готовности к отражению агрессии и ведения военных действий, а также при решении ими задач в сфере военной безопасности, защиты и охраны государственной границы, пролегающей в АЗ Российской Федерации, как в мирное, так и в военное время необходимо решить задачу создания соответствующей информационно-телекоммуникационной инфраструктуры.

Для успешного решения задач управления имеющимися и дополнительно развертываемы-

ми объектами силовых и коммерческих структур в районе Арктической зоны в настоящее время осуществляются и планируются к реализации новые проекты по совершенствованию телекоммуникационной инфраструктуры Российской Федерации. С учетом специфики региона важнейшей составляющей такой инфраструктуры является система связи военного назначения.

Существующая система связи в АЗ РФ базируется на тракты и каналы связи различных операторов связи Единой сети связи (ЕСЭ) России, ведомственные сети других силовых структур, линии ОАО «Газпром», развёрнутые различными средствами связи, а также линии связи Министерства обороны. По своей структуре, канальной ёмкости и устойчивости она не соответствует потребностям системы управления развёрнутой группировки войск.

Первичная сеть связи этой системы представляет собой сеть радиолиний сверхдлинноволнового (СДВ), коротковолнового (КВ) и ультракоротковолнового (УКВ) диапазонов волн, сеть спутниковой связи, базирующуюся на ретрансляторы спутников, движущихся по геостационарным и высокоэллиптическим орбитам, линии проводной и оптико-волоконной связи. Однако из-за особенностей работы радиосредств в северных широтах (находящихся на широтах, превышающих 700), радиосвязь на ряде участков частотного диапазона является неустойчивой, что естественно сказывается на устойчивости и непрерывности управления войсками.

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ НА ОСНОВЕ АЭРОПЛАТФОРМ

Научный поиск решений по повышению качества функционирования системы связи военного назначения в АЗ показал, что одним из рациональных путей решения этой задачи является развертывание в этом регионе России ретрансляторов связи на основе аэроплатформ, представляющих летно-подъёмных средствах на аэростатах, дирижаблях, высотных беспилотных летательных аппаратах (ВБПЛА), летающих в стратосфере.

Целесообразность применения таких ретрансляторов обусловлена следующими факторами:

- пространственным размахом и прогнозируемой динамикой военных действий в условиях Арктики;
- особенностями природно-климатических условий района возможных боевых действий;
- необходимостью обеспечения связи с войсками (силами), рассредоточенными на значительной территории и находящихся в одной зоне связи (архипелаге островов, на материковой части Арктического региона), или в одном кластере (острове, тактической зоне);
- потребностью в резервировании стационарных линий связи Минобороны и ЕСЭ России на определённой территории (наиболее важных информационных направлениях) [5].

Анализ проведенных в период 2010–2024 годов исследований показал, что одним из возможных направлений совершенствования связи в АЗ РФ может стать создание сети ретрансляторов, размещенных на базе дистанционно управляемых беспилотных летательных аппаратов (ДУПЛА) и наземных приёмопередающих средств. Такие средства могут быть носимыми, возимыми или размещаться на стационарных объектах связи [6-8].

По существу, в этом регионе должна быть развернута система беспроводной связи с задействованием потенциальных возможностей высотного-поднятых ретрансляторов связи (ВПРС), носителями которых могут быть дирижабли, аэростаты и БПЛА. В дальнейшем под ВПРС будем понимать высокоподнятые аэроплатформы (ВА). То есть, для реализации концепции создания телекоммуникационных аэроплатформ целесообразно использовать беспилотные аэростаты и дирижабли, способные не только подниматься на большие высоты, но и находиться там продолжительное время.

Преимуществом ВА, размещаемых на аппаратах легче воздуха, является их малая заметность в радиолокационном и даже оптическом диапазонах, а также высокая устойчивость носителя от воздействия оружия противника. К тому же, с учетом последних достижений в производстве высокопрочных материалов, которые могут применяться для изготовления корпусов носителей, а также в области микроэлектроники, ВА могут поднимать на требуемую высоту комплекс технических средств, обладающих значительными возможностями по обеспечению связи.

Высокоподнятая аэроплатформа для телекоммуникационных систем представляет собой летательный аппарат, который может доста-

точно долго находиться в воздушном пространстве, нести груз с телекоммуникационным оборудованием, обеспечивать его работоспособность и выполнять, по возможности, ориентирование антенных систем в определенную зону на поверхности Земли. Наибольший интерес представляют высотные аэроплатформы, расположенные на высотах более 14 км в зоне, свободной от путей гражданской авиации и используемой только истребительной и разведывательной авиацией.

Исследованиями особенностей атмосферы Земли установлено, что воздушные потоки в стратосфере относительно постоянные, однако, существуют некоторые сезонные и территориальные перепады скорости и направления ветра. Поэтому ключевой проблемой при использовании высотных аэроплатформ является поддержка их стабильного положения (зависания) в пространстве [9].

В зависимости от способа соединений бортового телекоммуникационного оборудования аэростатных носителей с наземными техническими средствами можно выделить два вида аэроплатформ: привязные, если соединение реализуется через кабель, крепящийся к летательному аппарату, и свободно подъёмные, не имеющие ограничивающего их движение привязного канатного вооружения. К свободно подъёмным относятся также и дирижабли.

Источником электроэнергии для телекоммуникационного оборудования могут служить наземная станция (только для аэростатов), бортовая топливная энергоустановка или солнечные батареи. Последние эффективны только для высокоподнятых платформ, расположенных в зоне высокого уровня солнечного излучения. Некоторые стратосферные аэроплатформы могут обеспечить энергией от своих солнечных батарей не только бортовое оборудование, но и аппаратуру, которая обеспечивает движение платформы. Это, в свою очередь, позволяет создать полностью автономную долголетающую аэроплатформу.

Таким образом, для телекоммуникационных целей могут использоваться аэроплатформы на базе аэростатов и дирижаблей.

Аэростат – это летательный аппарат легче воздуха. Различают аэростаты управляемые (дирижабли, моторизованные аэростаты с двигателями и воздушными винтами), неуправляемые (сферические аэростаты, или воздушные шары, стратостаты, радиозонды и т.п.) и привязные. Наиболее устойчивое положение в пространстве может сохранять привязной аэростат, у которого энергетическое обеспечение осуществляется по

кабелю с земли и (или) энергетической установкой на борту аэростата.

Привязной аэростат является частью аэростатного комплекса (рисунок 1). Кроме самого аэростата комплекс содержит кабель-трос, полезный груз и комплекс наземного обслуживания (НКО).

Привязной аэростат представляет собой платформу-носитель полезного груза. Кабель-трос удерживает аэростат во время подъема, спуска и стоянки на рабочей высоте, обеспечивая электроснабжение бортовых систем и полезного груза, а также отвод молнии и статического электричества. Наземный комплекс обслуживания гарантирует нормальное функционирование аэростата на рабочей высоте, его подъем и спуск, наземное обслуживание на всех этапах работы, а также обслуживание полезного груза (комплекса технических средств связи и автоматизации).

Комплекс наземного обслуживания содержит в себе удерживающее устройство, осна-

щенное аэростатной лебедкой, средствами газо- и воздухораздела, профилактического обслуживания, энергоснабжения, управления, радиосвязи, а также другими системами и оборудованием.

Другим типом носителей телекоммуникационного оборудования в АЗ РФ могут являться дирижабли, которые являются дальнейшим развитием аэростатов, способных к самостоятельному движению в воздушной массе

Дирижабль – это управляемый летательный аппарат (аэростат) легче воздуха, удлиненной формы. В конструкциях современных дирижаблей реализованы основные концепции современного дирижаблестроения: возможность взлета и посадки как вертикально, так и с укороченным разбегом; полет без затраты подъемного газа; управление вектором тяги воздушных винтов в вертикальной плоскости; возможность базирования как на наземных аэродромах, так и на гидродромах и подготовленных естественных площадках; применение дополнительного рулевого двигателя; использование современных

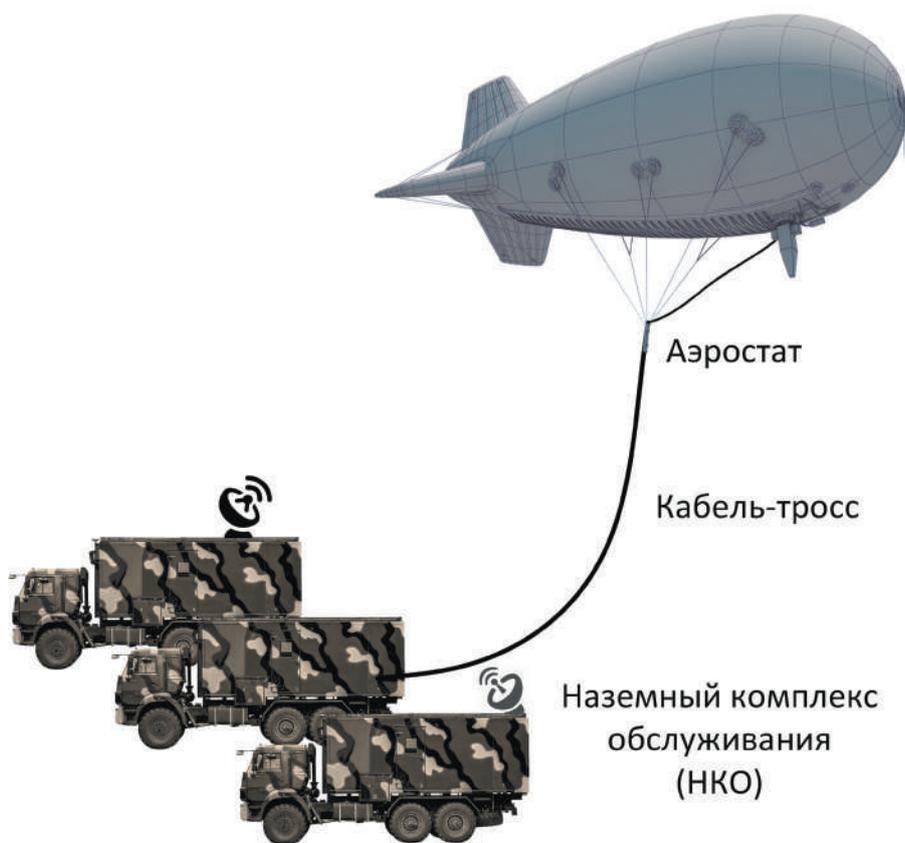


Рис.1. Аэростатный комплекс

материалов и бортового оборудования. Все это делает дирижабли наиболее привлекательными для использования в качестве аэроплатформ для телекоммуникационных систем.

На небольших высотах (до 6...7 км) дирижабли с объемом оболочки до 80000 м³, применяющиеся в качестве транспортных и патрульных средств, демонстрируют хорошие результаты. Но с подъемом в стратосферу при увеличении объемов оболочек до сотен тысяч кубических метров эффективность движущих силовых установок дирижаблей снижается.

Основной задачей телекоммуникационной системы на основе высокоподнятых аэроплатформ (ТСВА) является обеспечение пользователям возможности передачи значительных потоков информации в пределах зоны обслуживания, а также беспроводного широкополосного доступа (БШПД) подвижных (мобильных) абонентов [10].

Исследование возможностей технических средств по обмену информационными сообщениями позволили установить, что БШПД обеспечивает абонентский доступ к информационным ресурсам со скоростями передачи и качеством обслуживания, которые не достигаются традиционными системами наземной сотовой теле-

фонной и фиксированной спутниковой связи. Для охвата всех пользователей ТСВА в АЗ РФ целесообразно иметь три уровня ее структуры, охватывающие стратегическую, оперативную и тактическую зоны.

Общая структурная схема ТСВА приведена на рисунке 2.

В зависимости от отношения к службам связи, БШПД может быть фиксированным *FWA (Fixed Wireless Access)*, подвижным *MWA (Mobile Wireless Access)* или переносным *NWA (Nomadic Wireless Access)*.

Системы БШПД, поддерживающие беспроводный обмен более чем одного из следующих видов информационных сообщений – текста, звука, изображения, данных, видео, графики и звука, называемых мультимедийными беспроводными системами *MWS (Multimedia Wireless System)*.

Применительно к задачам военной связи в АЗ РФ, структура ТСВА должна соответствовать принятой системе управления войсками и основным положениям по построению системы связи с учётом группировки войск (сил) Военного округа, развёрнутой на территории региона (материковой части и островах), а также используемым беспилотным аэростатам.

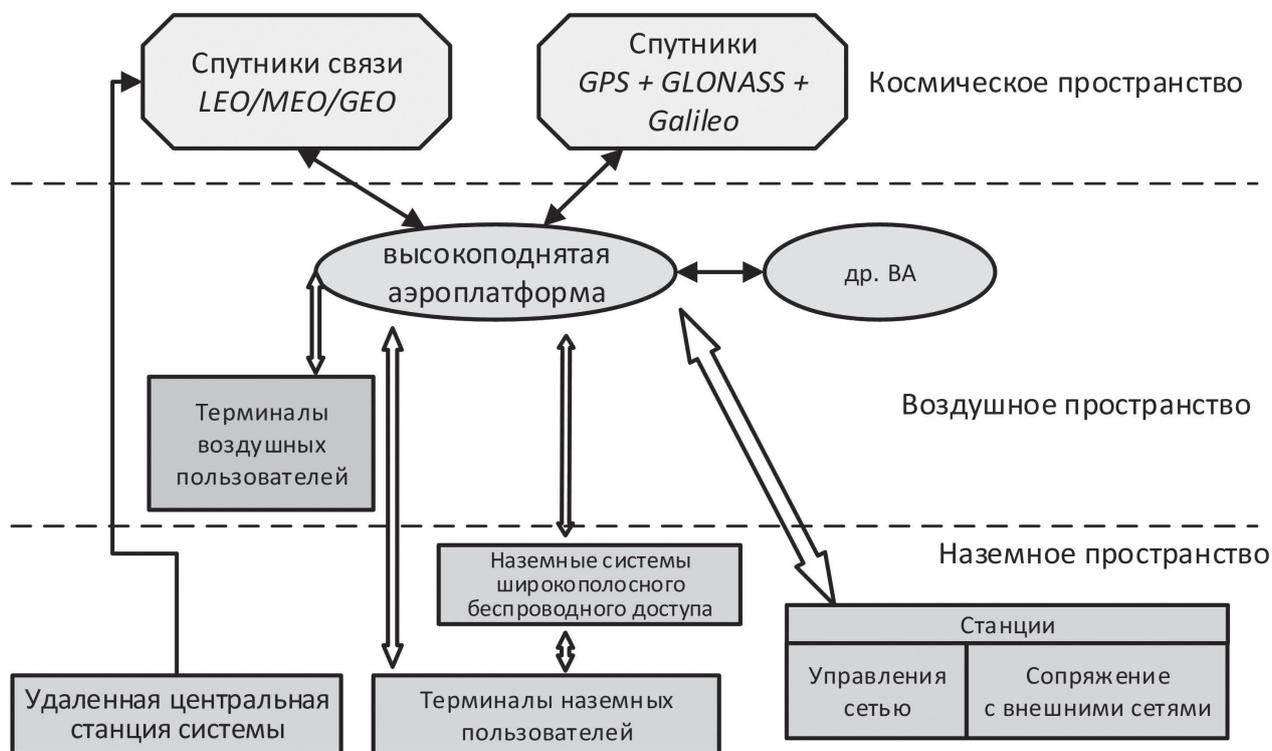


Рис. 2. Общая структурная схема ТСВА в Арктической зоне

В состав ТСВА входят:

- станция на базе высокоподнятой аэроплатформы (СВА), представляющая собой ретранслятор связи, расположенный на аэроплатформе в стратосфере;
- наземная станция сопряжения с внешними сетями (шлюзовая станция);
- наземная станция управления сетью;
- терминалы воздушных пользователей;
- терминалы наземных пользователей.

На обслуживаемой территории ТСВА обеспечивает прямой обмен разнородным трафиком (голос, данные, видео) между пользователями, а для установления связи с внешними источниками информации и пользователями использует наземные сети общего пользования и спутниковые каналы связи.

При определении степени применения ВА в АЗ РФ требуется решить большое число вопросов не только технического, но, в первую очередь, организационного, общетеоретического и экономического планов. К примеру, сколько ВА и на какой высоте необходимо разместить, исходя из физико-географических условий АЗ (размера и удаления островов, прибрежной части и др.), потребностей органов военного управления (ОВУ) по руководству войсками (силами), с учетом их оперативного предназначения в мирное и военное время, какой носитель целесообразнее применять и другие вопросы.

В общетеоретическом плане имеется значительное число отечественных и зарубежных научных трудов, в которых исследована проблема применения ретрансляторов с точки зрения распространения радиоволн. Из теории применения ретрансляторов, размещаемых в воздушной среде и предполагающихся к применению для обеспечения ретрансляции УКВ радиосигналов следует, что дальность прямой видимости в УКВ диапазоне из двух точек, поднятых над поверхностью Земли на определенную высоту (рисунок 3),

определяется известным выражением

$$r_{0,км} = 3,57 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (1)$$

где высоты h_1 и h_2 выражаются в метрах.

Приведенное выражение (1) может быть применено при поиске ответа на вопрос о необходимой и достаточной высоте подъема ВА, обеспечивающего поддержание связи с подвижными и другими объектами в полосе действий объединения, соединения, воинской части.

В условиях предъявления достаточно жестких требований к устойчивости сети, развешиваемой с применением ВА, и своевременности связи, организуемой таким образом, радиус «площади покрытия» средствами, размещаемыми на аэроплатформе, не может быть меньше половины длины диагонали прямоугольника, охватывающего полосу действий объединения (соединения).

Ширина и глубина боевых действий в обороне будут иметь размеры, в общем виде интерпретированные рисунком 4. В наступлении стороны прямоугольника поменяются местами. То есть, меньшая его сторона будет соответствовать ширине, а большая – глубине построения войск при наступательных действиях объединения (соединения).

С точки зрения правил построения геометрических фигур в пространстве, для охвата территории, занимаемой войсками объединения, ретранслятор необходимо размещать в точке А, являющейся вершиной конуса (рисунок 5). Радиусом основания этого конуса должен быть радиус описанной вокруг полосы боевых действий (зоны покрытия) окружности. На рисунке 5 изображено вертикальное сечение такой фигуры.

Из анализа рисунка 4 следует, что часть территории, на которой осуществляется уверенный прием сигнала от ретранслятора, с учетом выполнения требований по высоте его подъема,

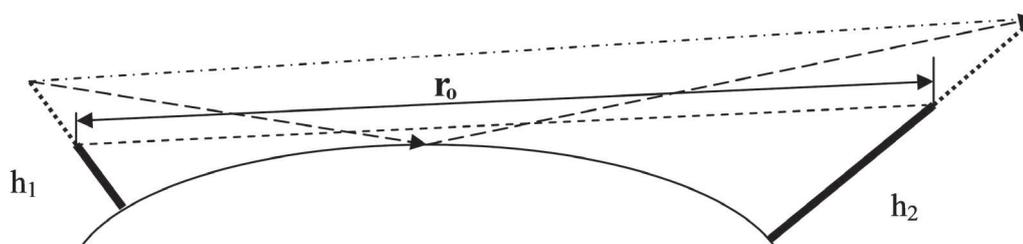


Рис.3. К расчету прямой видимости между двумя объектами с учетом кривизны поверхности Земли

будет находиться вне полосы размещения своих войск (заштрихованный сектор). То есть из этого района противник может вести радиоразведку всех сигналов, ретранслируемых ВА. Для уменьшения вероятности приема сигналов потребуется или уменьшение высоты подъема аэростата, что исключит выполнение условия по обслужива-

имодельствующих между собой по вопросам обеспечения связи.

Преобразуя выражение (1), получим соотношение (2) расчёта высоты подъема ретранслятора (ВА) для требуемого охвата территории (площади её покрытия), занимаемой войсками объединения (соединения), развернутыми в ин-

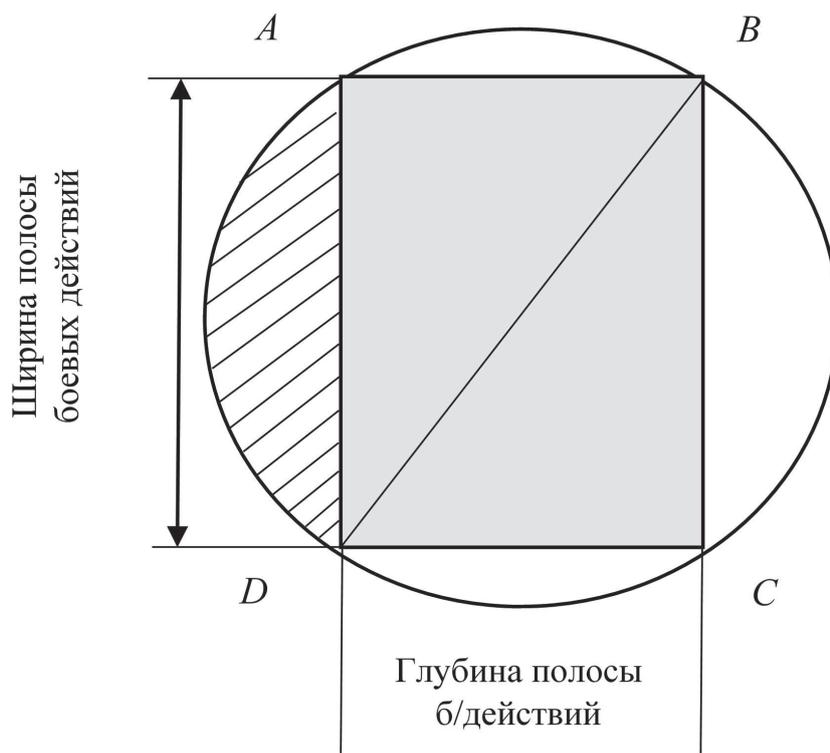


Рис. 4. Соотношение полосы боевых действий и требуемой зоны покрытия ретранслятора связи

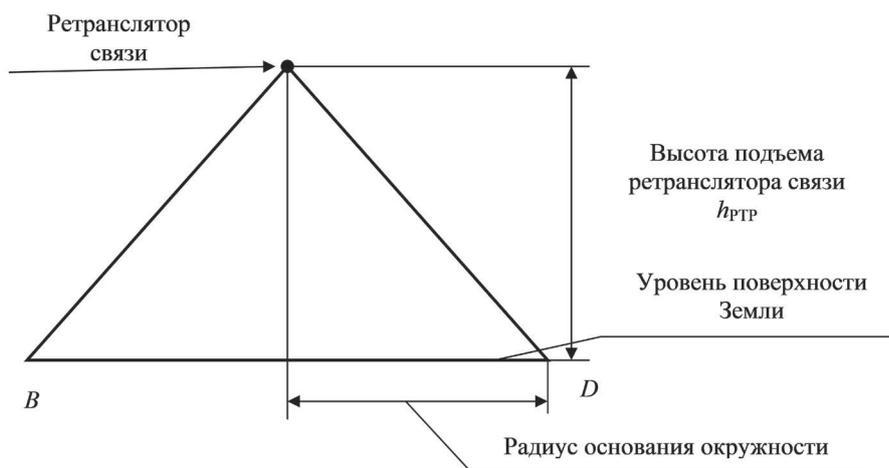


Рис. 5. К понятию о высоте подъема ретранслятора связи

нию им территории, занимаемой войсками, или развертывание нескольких ретрансляторов, вза-

тересах выполнения задач по оперативному предназначению (ведения боевых действий):

$$h_{\text{ПТР}} = \frac{r_0^2}{4(3,57)^2} = \frac{r_0^2}{50,9796}, \quad (2)$$

где r_0 – радиус окружности основания конуса (рисунк 4).

Результаты вычислений высоты подъема ретранслятора для охвата территории в АЗ РФ, занимаемой объединениями и соединениями (воинскими частями), могут являться исходными

данными для практической реализации подъема ВА на лётно-подъемных средствах.

Радиус действия ТСВА представляет собой отдельную зону связи, которая позволяет создавать на ее базе многосотовую сеть с обеспечением межзонового и межсотового трафика исключительно через ВА из ряда СВА и спутниковой макросоты. На рисунке 6 приведен вариант структуры многозоновой ТСВА.

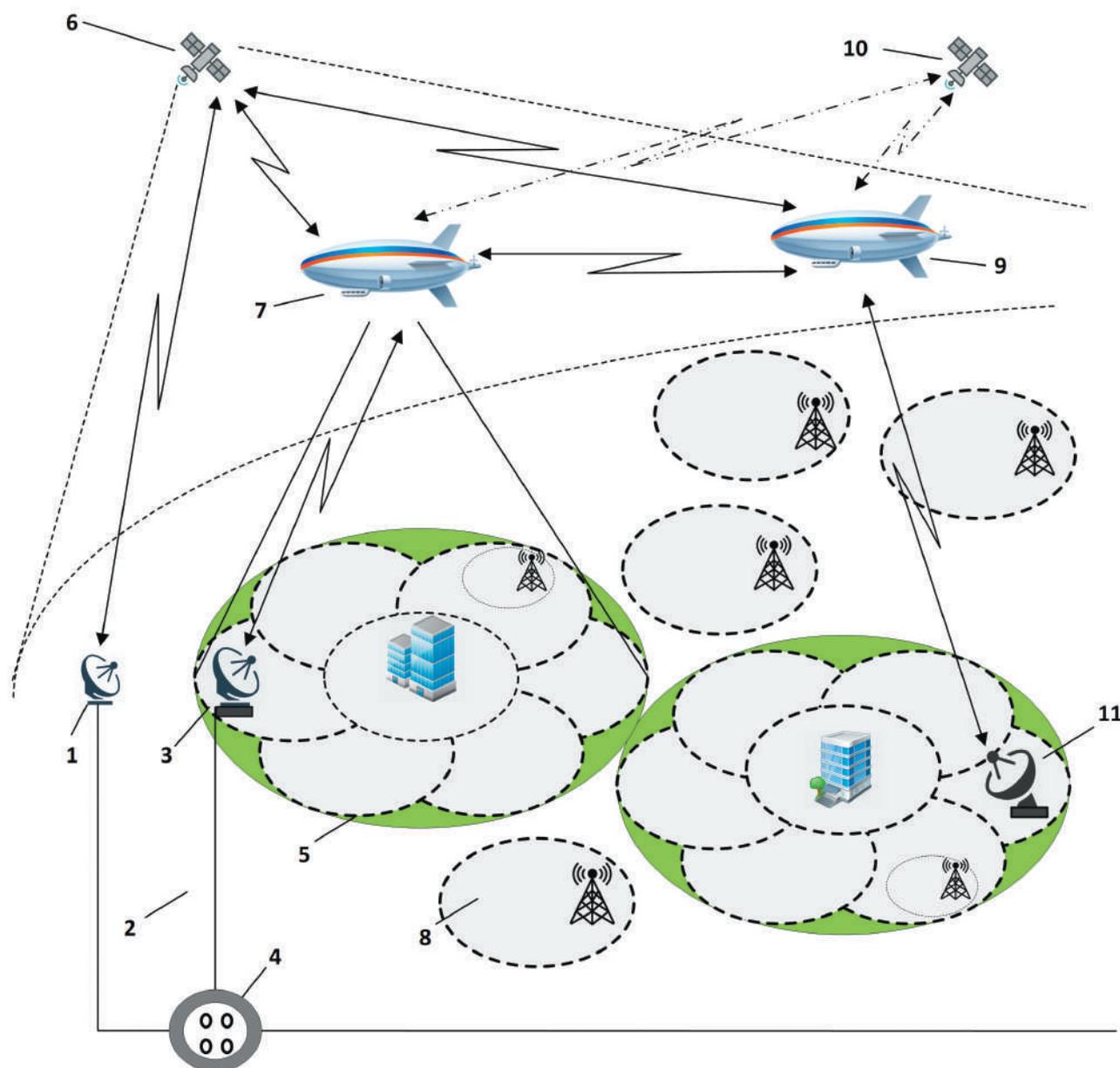


Рис. 6. Структура многозоновой ТСВА (вариант) Цифрами на рисунке обозначены:
 1 – спутниковая наземная станция; 2 – спутниковая макросота; 3, 11 – наземные станции сопряжения; 4 – магистральная линия связи; 5 – зона ТСВА; 6 – спутник связи; 7, 9 – аэроплатформа с СВА; 8 – наземные сотовые беспроводные системы; 10 – навигационный спутник ГЛОНАСС/GPS.

В зависимости от реализуемой площади покрытия и плотности информационного трафика ТСВА формируются следующие зоны обслуживания, которыми обозначается покрытие радиосистемами определенных участков местности в АЗ РФ:

- тактическая зона. Она охватывает отдельный район, территорию (остров) в радиусе до 30...40 км. Основная ее особенность – большая плотность обслуживания;
- оперативная зона, охватывающая территорию в радиусе 100...150 км. От других зон она отличается средней плотностью обслуживания потребителей ретранслируемого ресурса;
- стратегическая зона имеет наибольший радиус (500 км и более) и наименьшую плотность обслуживания.

Для охвата пользователей в соответствующей зоне возможно применение аэроплатформы на аэростатах, поднимаемые на высоты 100...1500 м (низкоподнятые) и 3000...4000 м (среднеподнятые) ретрансляторы связи, а также БПЛА с возможностью длительного нахождения в воздухе и имеющих достаточную полезную нагрузку (не менее 7 –10 кг). На высотах

15000...20000 м размещают высокоподнятые ретрансляторы связи, носителями которых являются дирижабли.

Предварительные расчеты показывают, что с учетом высоты подъема аэроплатформ (20000 метров), технические средства, размещенные на борту такого носителя, способны обеспечить ресурсом ретрансляции наземные объекты, расположенные в условной площади круга диаметром 500 – 600 километров (рисунок 7).

Такие аэроплатформы в АЗ РФ целесообразно размещать на островах Земля Франца Иосифа, Новая Земля, Северная Земля, Новосибирские острова. Анализ проводимых исследований в области применения воздушных ретрансляторов связи позволяет утверждать, что это позволит обеспечивать связь на островных территориях, а также между островами, обеспечивая взаимодействие войск и связь судам в водах Северного Ледовитого океана и морях. Для прикрытия Кольского операционного направления ВА может быть развернута в районе населенного пункта Североморск.

В организуемой ТСВА формируется зона обслуживания (действия), в пределах которой создается необходимый для приема наземной

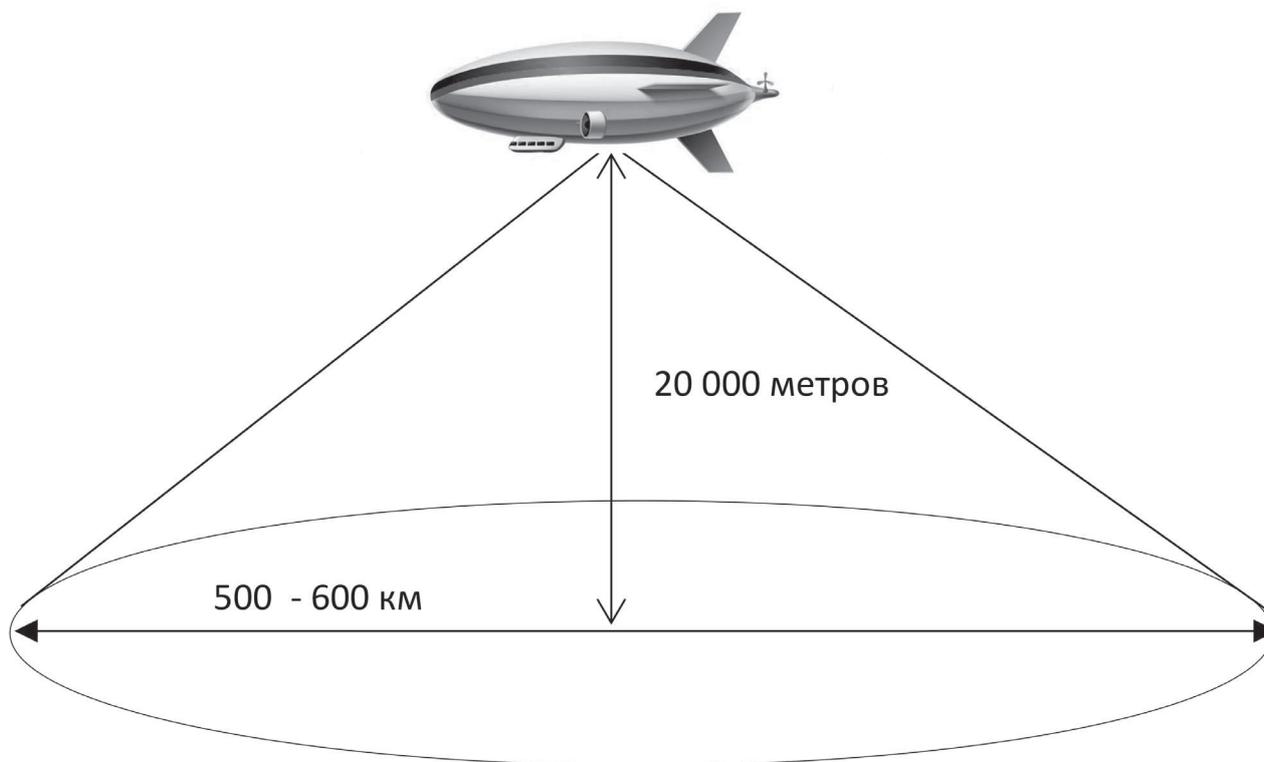


Рис.7. Зона освещенности земной поверхности, на которой возможно осуществление радиосвязи наземных объектов с задействованием ресурса ретранслятора связи на борту ВА

станцией уровень сигнала, излучаемого СВЧ, а также обеспечивается необходимый уровень сигнала от наземной станции на входе приемника СВЧ с соблюдением необходимых защитных интервалов по отношению к мешающим сигналам других систем.

Для доступа мобильных абонентов на СВЧ используется (устанавливается) многолучевая антенна для формирования многосотовой (многочаеистой) зоны покрытия. В такой зоне покрытия односотовая зона обслуживания формируется с помощью одного луча антенны СВЧ.

В общем случае проекцию луча антенны с симметричной круговой диаграммой ДН на поверхность Земли можно смоделировать в виде пересечения конуса с плоской поверхностью. При этом могут иметь место четыре формы пере-

сечения: круг при условии перпендикулярности продольной оси симметрии конуса и плоскости поверхности (луч антенны строго направлен вниз от СВЧ); эллипс, когда продольная ось конуса пересекает плоскость поверхности под углом, не равным $\theta = 0$; парабола, если плоскость поверхности пересекает конус параллельно его образующей; гипербола, когда при больших углах θ луч антенны не будет полностью попадать на поверхность Земли.

Наибольший интерес для анализа работы многосотовой зоны покрытия представляет эллиптическая форма проекции луча бортовой антенны на поверхность Земли (рисунок 8).

Если представить главный лепесток ДН антенны СВЧ в виде конуса излучения с углом ϕ (вершина конуса на СВЧ), а поверхность Земли –

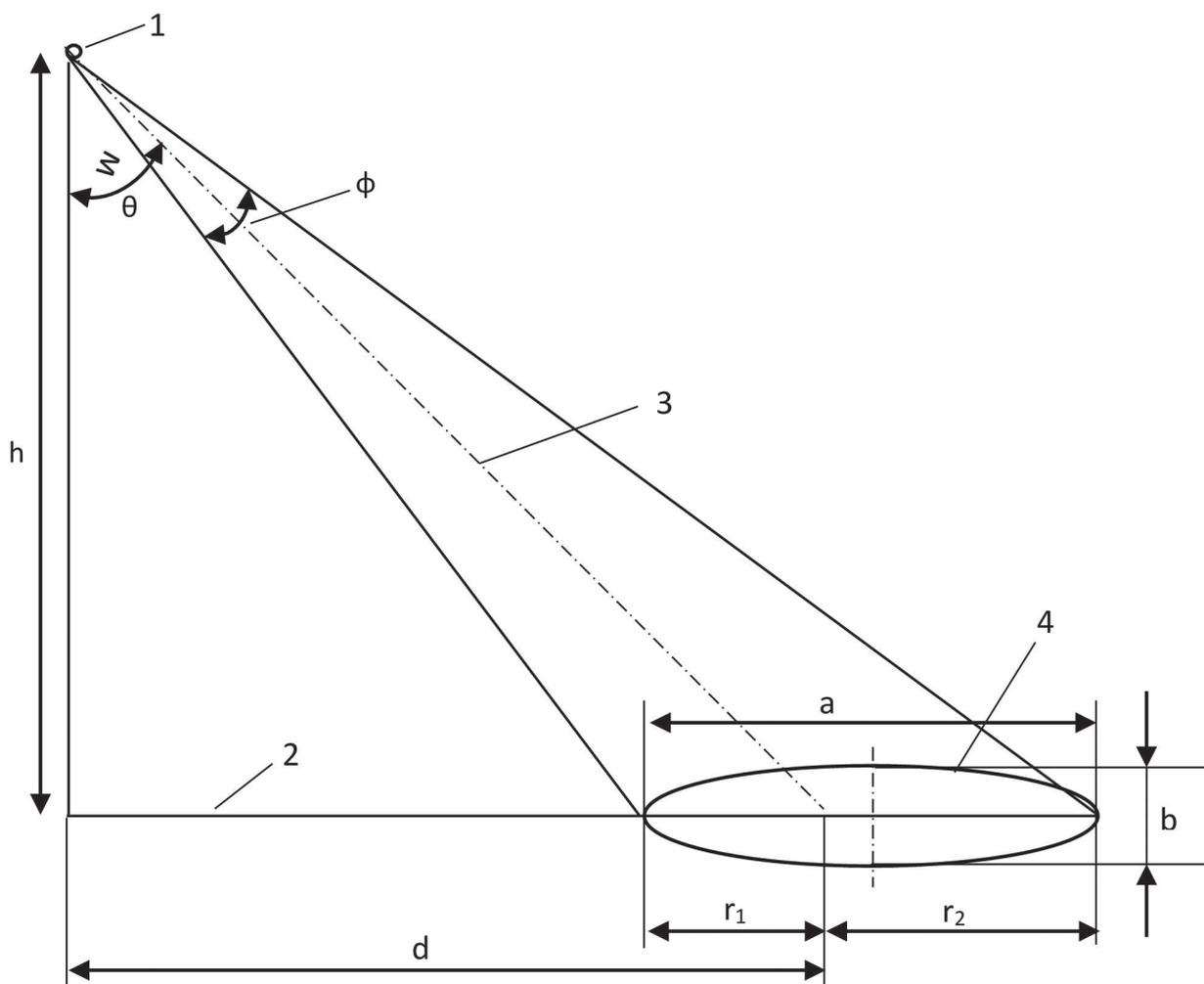


Рис. 8 – Проекция луча антенны с симметричной круговой диаграммой направленности на поверхности Земли
Цифрами на рисунке обозначены: 1 – СВЧ; 2 – поверхность земли; 3 – главная ось ДН луча антенны СВЧ; 4 – контур эллиптической зоны покрытия луча

как секущую плоскость в сечение такого конуса, то при использовании проекционных правил начертательной геометрии и аппарата тригонометрии можно получить проекцию такой ДН на плоскость в виде эллипса с главными осями, a и b , равными:

$$a = r_1 + r_2; \quad (3)$$

$$b^2 = 4tg^2(\phi/2) \cdot (h/\cos\theta + \sin\theta(r_2/r_1)/2)^2 - (r_2 - r_1)^2 \cos^2\theta, \quad (4)$$

где: $r_1 = h \cdot \sin(\phi/2) / \cos\theta / \cos(\theta - \phi/2)$;
 $r_2 = h \cdot \sin(\phi/2) / \cos\theta / \cos(\theta + \phi/2)$;
 h – высота расположения СВА.

Со смещением угла θ будет происходить перемещение главной оси диаграммы направленности луча в горизонтальной плоскости и контура эллиптической зоны покрытия. Наличие на ВА нескольких антенн позволит в пределах зоны покрытия создавать так называемые ориентированные зоны связи для мобильных и фиксированных абонентов в зависимости от сложившейся обстановки и выполняемых задач.

Формирование нескольких пространственных каналов создаёт высокую спектральную эффективность таких систем, позволяет уменьшить число ошибок при радиообмене данными без снижения скорости передачи в условиях множественных переотражений сигналов [11,12]. Также при этом достигается: расширение площади покрытия радиосигналами и сглаживание в ней мертвых зон; использование нескольких путей распространения сигнала, что увеличивает вероятность работы по тем трассам, на которых меньше проблем с замираниями, переотражениями и др.; увеличение пропускной способности линий связи за счет формирования физически различных каналов (разделенных пространственно, с помощью ортогональных кодов, частот, поляризационных мод).

В зависимости от матрицы трафика в каждый момент времени одна ВА будет обслуживать все потоки сообщений, причем соотношение объемов переданной информации определяется матрицей трафика и условиями, в которых находится ВА.

При работе в сети предполагается использование конечными пунктами протокола транспортного уровня, который обеспечивает надежную связь через сеть. Доступ к сети и сквозная передача обеспечивается земной станцией (ЗС) с помощью протоколов сетевого уровня. Это позволит предоставлять необходимые услуги и осуществлять сквозное управление потоками.

Протоколы маршрутизации и управление при перегрузках выполняются совместно земными станциями и СВА.

Построение телекоммуникационной инфраструктуры в АЗ РФ как совокупности беспроводных телекоммуникационных средств для предоставления информационных, навигационных и других услуг, а также беспроводных транспортных сетей, сетей абонентского доступа базируется на следующих принципах:

- сосредоточение телекоммуникационных средств в местах наибольшей плотности пользователей;
- поддержка высокой информационной пропускной способности для войск в районах, выполняющих боевые задачи;
- применение современных сетевых и информационных технологий;
- обеспечение передачи всех видов информационных сообщений (речь, текст, данные, изображения, видео и т.д.);
- максимальное применение современных цифровых средств отечественного производства;
- реализация мобильности, заключающаяся в том, что каждый пользователь имеет возможность использовать необходимое ему соединение независимо от места подключения к сети;
- прозрачность поддержки соединений для информационных потоков разных стандартов через специальные интерфейсы, обусловленные протокольным уровнем используемых телекоммуникационных систем, который не распространяется на внешние сети.

Обобщённая схема построения информационно-телекоммуникационной инфраструктуры в АЗ РФ приведена на рисунке 9.

Из приведенной схемы можно выделить следующие уровни:

- спутниковых коммуникаций с невысокой информационной плотностью, но с наибольшим покрытием территории;
- телекоммуникационных систем ВА со средней информационной плотностью;
- наземных беспроводных систем с максимальной информационной плотностью;
- доступа к наземным магистральным ВОЛС и узлам доступа, распределительных местных кабельных сетей и информационных ресурсов.

Особенностью системы связи межвидовой разнородной группировки войск в АЗ явля-

ется её значительный пространственный размах, обусловленный размещением входящих в ее состав объединений, соединений и частей. Это потребует широкого применения спутниковых широкополосных систем на основе космических аппаратов «Благовест», а также ВА для создания (построения) многосотовой сети с обеспечением межсотового мультимедийного пакетного трафика, передаваемого по организуемым радиопередающим линиям земных станций, которые могут быть стационарными или подвижными.

В зависимости от обстановки и характера решаемых задач возможны комбинированные способы использования ретрансляторов: высокоподнятых, среднеподнятых и ретрансляторов на малых высотах.

Для оперативного звена управления наиболее характерными вариантами боевого применения аэростатных ретрансляторов является

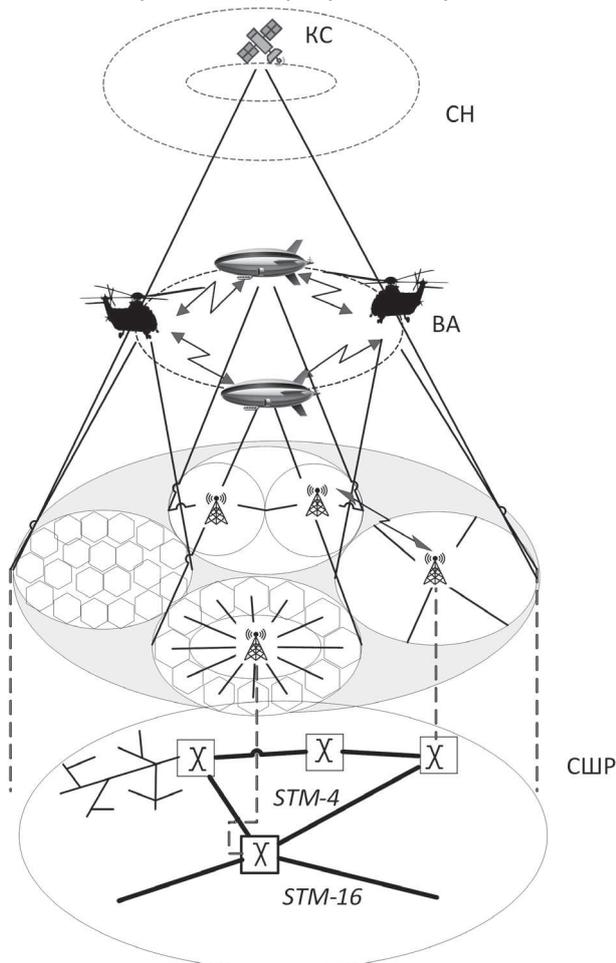


Рис. 9. Обобщённая схема построения информационно-телекоммуникационной инфраструктуры в АЗ РФ. Сокращения на рисунке означают: КС – коммуникационный спутник; СН – спутник навигации; ВА – высотная аэроплатформа; СШР – сеть широкополосного радиодоступа

применение среднеподнятых аэроплатформ для решения следующих задач: усиления или наращивания линий первичной сети системы связи объединения; развертывания автономных линий связи; резервирования линий связи системы объединения; развертывания отдельных объектов системы связи; резервирования линий прямой связи между пунктами управления; развертывания сети широкополосного беспроводного радиодоступа. Возможны также комбинированные способы использования ретрансляторов (самолётов, вертолётов, БПЛА).

Широкое применение РС найдут для усиления или наращивания линий первичной сети системы связи объединения, особенно ее опорной сети. Такая необходимость может возникнуть на информационных направлениях с пунктами управления, доступ которых к опорной сети объединения другими способами, обеспечивающими требуемые показатели качества связи, невозможен. Резервными являются линии прямой связи между пунктами управления, которые не рассчитаны на полноценную замену нарушенных связей в случае выхода из строя какого-либо элемента опорной сети связи. То есть, РС на аэроплатформе может, в том числе, выполнять задачи по резервированию линий опорной сети связи [13].

В операциях, проводимых оперативными объединениями, могут возникать ситуации, когда на ретрансляторы связи будут возлагаться функции отдельных объектов системы связи, например, вспомогательного узла связи (ВУС), когда по объективным причинам своевременное развертывание наземного ВУС невозможно или нецелесообразно.

В тактическом звене управления применение ретрансляторов связи может стать одним из направлений решения большого круга задач, стоящих перед связью. Это обусловлено относительно быстрым временем развертывания и простотой эксплуатации маловысотного привязного аэростата, что в условиях частого перемещения узлов связи пунктов управления (общевойсковое соединение) является особо актуальным.

Анализ условий ведения современного боя показывает, что наибольшие сложности в обеспечении связи с элементами боевого порядка соединения возникают:

- при обеспечении связи на информационных направлениях с удаленными объектами;

- при совершении марша из мест постоянной дислокации или районов сосредоточения войск в район боевого предназначения;
- в ходе боя при выходе из строя одного или нескольких пунктов управления соединения, опорных или вспомогательных узлов связи;
- при перегруппировке войск;
- для управления элементами боевого порядка соединения (оперативного построения объединения) при высоких темпах наступления;
- при форсировании водной преграды;
- при бое за удержание береговой части территории;
- при действии войск на разобценных направлениях;
- для управления частями (группами), действующими в труднодоступных районах (горных, болотистых, разломах льда и др.);
- при организации связи с взаимодействующими и поддерживающими органами (силами);
- для восстановления, резервирования или быстрого наращивания линий связи;
- в других условиях обстановки, когда применение табельных средств связи не решает задачи обеспечения потребностей управления с требуемым качеством с одним или несколькими элементами боевого порядка соединения.

Решение перечисленных задач требует большого набора возможных вариантов организации ретрансляции в радиосетях и радионаправлениях с задействованием ультракоротковолнового и дециметрового диапазонов волн, в радиорелейных линиях связи. Перечисленные задачи могут быть возложены на планируемые к боевому применению РС на низкоподнятых аэроплатформах. При этом унифицированные ретрансляторы должны обеспечивать:

- инвариантность к составу группировки войск, к изменению перечня выполняемых задач в соответствии с обстановкой;
- полноту охвата зоны покрытия с учетом возможных изменений структуры системы управления в динамике боя;
- способность системы связи к реконфигурации и наращиванию при усилении соединения приданными и поддерживающими силами (средствами), при организации взаимодействия войск;
- устойчивость к различным видам воздействия.

В боевой обстановке неизбежны условия, когда РС должен выполнять не только функции автоматической ретрансляции сигналов между корреспондирующими пунктами, но и обеспечивать радиодоступ средствами ретранслятора к каналному ресурсу узла связи того пункта управления, от которого обеспечивается управление подразделениями.

С учетом задач, которые могут быть возложены на РС в системе связи общевойскового соединения, возможны относительно самостоятельные варианты их боевого применения: резервирование радиолиний; развертывание самостоятельной высокоскоростной сети радиосвязи; развертывание автономных линий связи системы связи соединения (рисунок 10).

Учитывая уникальные свойства ВА (большая продолжительность выполнения задачи в интересах нескольких видов и родов войск на СН, охват большой территории, мобильность) позволяют утверждать о приоритетном их использовании в качестве зонального (регионального) ретранслятора в АЗ РФ.

Использование эшелонированных аэроплатформ в АЗ РФ может составить основу телекоммуникационной системы связи. При этом для управления межвидовой группировкой войск целесообразно предусматривать развертывание разнородных сетей связи, основанных на применении цифровых средств радиорелейной связи, средств метровых и дециметровых волн (МВ-ДМВ) радиосвязи, радиолиний сантиметровых волн (СМВ), сетей БШПД и спутниковой связи.

Применение радиорелейных средств и БШПД позволит осуществлять восстановление, резервирование и наращивание линий связи транспортной сети наземного эшелона, а также обеспечит дополнительные линии прямой связи с наиболее важными корреспондентами. Средства МВ-ДМВ радиосвязи комплекса «Азарт» могут быть применимы для реализации потребностей корреспондентов уровней управления от оперативного до тактического включительно, а ДМВ-2 диапазона – в основном как средства доступа к ресурсам первичной сети и для построения распределенных сетей связи.

Чтобы обеспечить устойчивое управление войсками, дислоцированными в АЗ необходимо иметь разветвленную систему связи с использованием современных цифровых технологий, обладающих высокой устойчивостью, электромагнитной совместимостью и разведзащищенностью (энергетической, структурной и инфор-

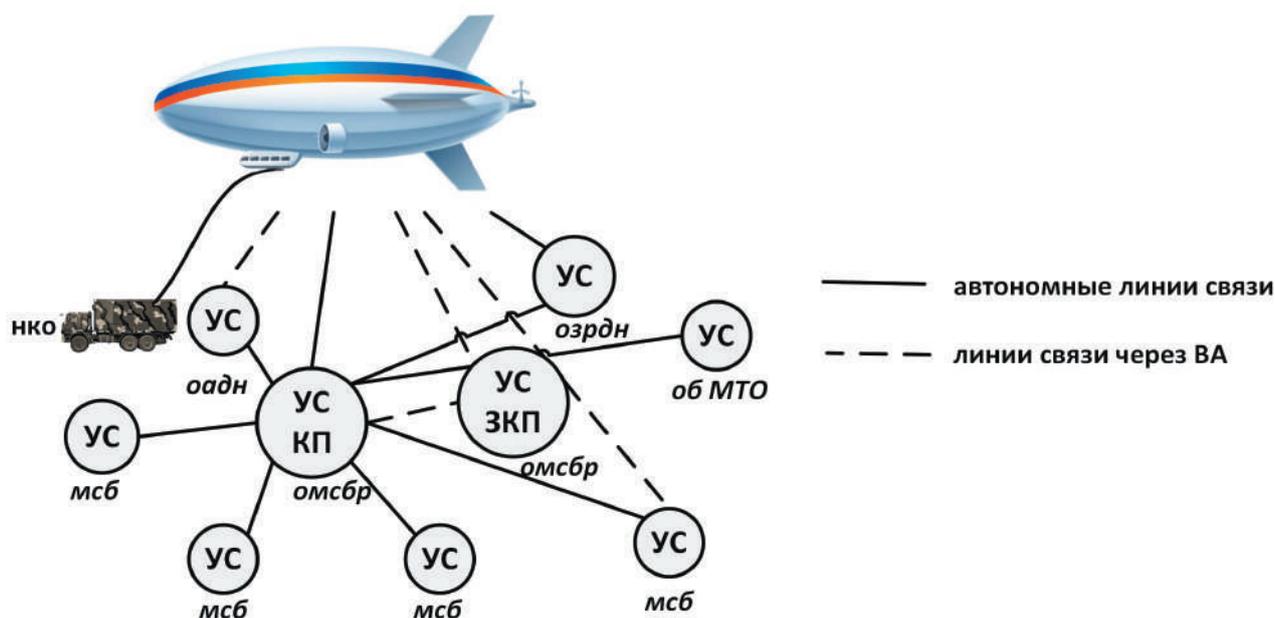


Рис. 10. Применение ретранслятора связи на аэростате в тактическом звене управления (вариант)

мационной скрытностью), а также учитывать территориальное размещение узлов связи штабов и пунктов управления войсковых группировок.

Основу таких технологий должны составлять инфотелекоммуникационная сеть, представляющая собой функционально связанную совокупность программно-технических средств обработки информации и обмена информацией и состоящая из территориально распределенных информационно-коммутиционных узлов (подсистем обработки информации, коммутации и маршрутизации) и физических каналов передачи информации, соединяющих данные узлы.

Для формирования информационной инфраструктуры в АЗ РФ потребуются прежде всего создание основного системообразующего компонента – многоуровневой (эшелонированной) распределённой системы связи, охватывающей всю территорию АЗ (островную и береговую) включающей в своём составе: центральную коммутационную станцию доступа и сопряжения (ЦКСДС) несколько коммутационных станций доступа и сопряжения (КСДС) и автоматических коммутационных центров (АКЦ), соединённых между собой линиями спутниковой связи, радиорелейной и радиосвязи, беспроводного широкополосного доступа технологий Wi-Max, Wi-Fi, LTE-450, Mc-WiL и других (по опыту СВО). Последние обладают такими положительными свойствами, как обеспечение высокого качества передачи речи, малая задержка при передаче IP-пакетов,

приоритетности доступа, устойчивость соединения, низкая мощность излучения, доступная абонентская скорость обмена до 30 Мбит/с. Средства БШПД имеют возможность дистанционное управление, что весьма важно для северных районов при низких температурах.

На рисунке 11 приведен фрагмент структуры инфотелекоммуникационной сети в составе средств спутниковой связи на различных орбитах КА, аэростатов с зонами покрытия территорий, центрами коммутации и линиями их соединяющих. При такой структуре сети обеспечивается высокая связность при больших расстояниях и возможность как централизованного, так и децентрализованного управления. Для создания сплошной зоны покрытия (доступа) над островами размещаются ВА, с помощью которых обеспечивается информационный обмен всех соединений, частей, подразделений и расчётов в зоне, а также между соседними зонами через КСДС по линиям (каналам) спутниковой связи.

Размещаемые модули связи различных диапазонов частот в составе эшелонированных аэроплатформ на аэростатах и дирижаблях, а также наземные модули воздушной связи позволяют реализовать передачу информационных сообщений с достаточно высокими скоростями, обеспечивающими эффективное использование возможностей беспроводных широкополосных систем всех высших уровней рассмотренной инфраструктуры.

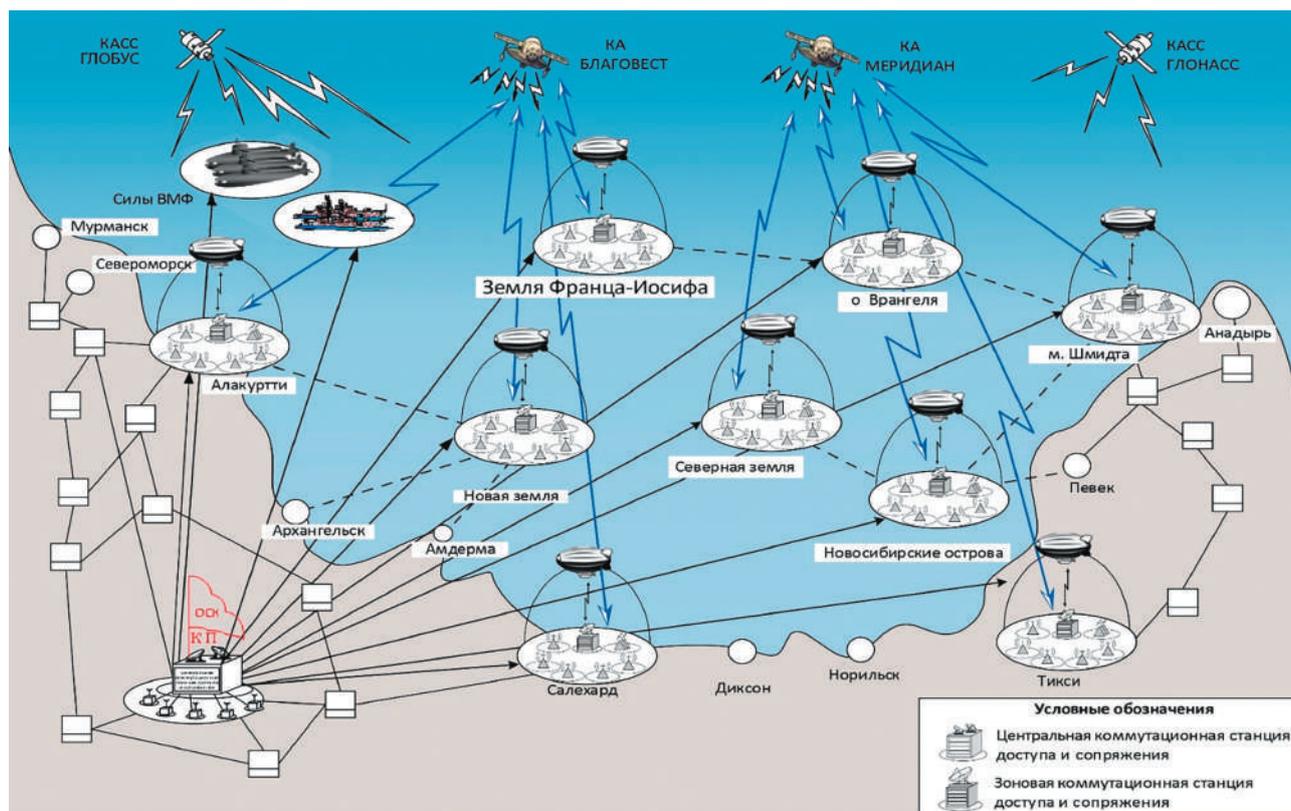


Рис.11. Структура инфотелекоммуникационной сети островной и прибрежной зонах

Развёртывание в Арктической зоне Российской Федерации телекоммуникационной сети на основе высокоподнятых аэроплатформ позволит создать техническую основу системы управления группировкой войск (сил), обладающую высокими показателями таких существенных свойств системы связи как структурная жи-

вучесть, доступность, мобильность. Это создаст условия гарантированного обеспечения связи органам и объектам управления, находящимся на значительных расстояниях друг от друга, при безусловном выполнении требований по пропускной способности и информационной безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евсюк А.В. Информационное противоборство за инфраструктуру и расчёт Арктики // Военный академический журнал. 2023. № 4. С.100–119.
2. Криволапов О.О. Военная политика администрации Д. Трампа в Арктике / США, Канада- экономика-политика-культура. 2019. № 4. С.31–44.
3. Чуркин И.П. Развитие системы боевого управления авиацией в Арктической зоне ответственности за противовоздушную оборону / Военная мысль. 2023. № 4. С.624–70
4. Н. Михашенок. Военно-морские силы НАТО в Арктике // Зарубежное военное обозрение. 2023 № 2. С.69–72.
5. Иванов Г.В., Костюков А.Д., Ташлыков С.Л. Военно-исторические аспекты освоения российского арктического пространства // Военно-исторический журнал.2020. № 8. С.4-12.
6. Гаврилов О.Ю. Состояние и перспективы развития региональной безопасности в Арктике // Военная мысль. 2019. № 8. С.34–49.
7. А.Д. Володин, Канада и проблемы суверенитета в Арктике в начале XX века.// Канада- экономика-политика-культура. 2019. № 6. С. 81–100.
8. А.Е Субботин, М.В. Марков. Особенности организации и проведения мероприятий по боевой подготовке в условиях Крайнего Севера.//Армейский сборник №4 2019 г., С. 87-98.
9. К. Е. Иванов, И.Т. Осташов, Е.Н. Косяков. Радиорелейные и спутниковые системы передачи информации специального назначения. Учебник, -Спб.,2013 г.. С.67 -85.

10. М. Е. Ильченко, С. А. Кравчук. Телекоммуникационные системы на основе высотных аэростатных платформ. – Киев.: НПП «Наукова думка» НАН Украины, 2008 г. С.24-26, 43-45, 78-101.

11. М.С. Лохвицкий, А.С. Сорокин, О.А. Шорин. Мобильная связь: стандарты, структуры, алгоритмы, планирование.// М. Горячая линия. Телеком. 2019.-294 с.

12. С.Л. Гавлиевский, В.Г. Карташевский. Эволюция архитектуры мультисервисных сетей широкополосного доступа. // Вестник связи №4. 2019.г. С.17-20.

13. Н.А. Пылаев. Методика оценки вероятностно-временных характеристик передачи сообщений по составным радиоканалам через ретрансляторы связи на бесплодных летательных аппаратах.//Информация и космос, № 4, 2021 г., С.18-21.

BUILDING AN INFOTELECOMMUNICATION NETWORK BASED ON AIR PLATFORMS IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Karpov M. A.¹, Lukyanchik V. N.², Vasilyeva T.G.³

Keywords: *satellite communication, communication network, communication object, message flow, balloon, airship, stability, channel capacity, control.*

Objective. *To develop scientific and technical proposals for building an information and telecommunication network in the Arctic zone based on air platforms using modern and promising technologies for the management of a different group of troops stationed in the sea zone and the land part of the newly created Leningrad Military District.*

Research method. *Analytical with partial involvement of mathematical apparatus to determine the line of sight for VHF means of the frequency range and the coverage zone of the territory (combat area) of the raised communication repeater located on the aeroplatform.*

The result *of research in the field of building an information and telecommunication network based on air platforms for various purposes during their deployment (lifting) in the area of operation of troops at the points of permanent deployment and when performing combat missions for their intended purpose.*

According to the results of the research, the following was revealed:

- *the troops stationed on the islands of the Arctic Ocean of the Arctic zone of the Russian Federation were subordinated to the Leningrad Military District;*
- *the information field available (created) in the AZ of the Russian Federation does not have the necessary depth of construction, is focal in nature and does not ensure the performance of military command and control tasks in the required volume;*
- *the existing communication system in the RF AZ in terms of its structure, channel capacity and stability does not meet the needs of the control system of the deployed group of troops (forces);*
- *the considerable distances of the command posts of military units from the headquarters of the military district, as well as between the islands, determine the need to deploy communication lines by wireless means of communication, including wireless access facilities located on air platforms (balloons, airships, UAVs).*

The article theoretically substantiates the construction of an infotelecommunication network based on high-altitude aerial platforms with the ability to transmit significant information flows within the service area, as well as broadband wireless access (BWA) for mobile subscribers based on technologies from the experience of their application in the NWO.

The article provides practical recommendations on the lifting height of aerial platforms to create a coverage area of the required area (size) depending on the need to ensure communication of military formations located in a certain territory.

The telecommunications infrastructure being formed in the RF AZ is being created as a set of wireless telecommunication facilities for the provision of information, navigation and other services based on wireless transport networks and subscriber access networks. Such technologies as Wi-Mix, Wi-Fi, LTE-450, Mc-WiL, from the experience of deploying broadband access networks in the NWO can be used.

¹ Mikhail A. Karpov, Ph.D. (Tech.), Head of the Department of the Research Center of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: Karpuh.djan@mail.ru

² Valentin N. Lukyanchik, Candidate of Military Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Research Center of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: v-lukyanchik@bk.ru

³ Tatyana G. Vasilyeva, Researcher of the Research Center of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail:

The scientific novelty is determined by the depth of substantiation and consideration of the features of creating a telecommunication system based on high-altitude air platforms consisting of balloons (airships) and telecommunication equipment to provide users with the ability to transmit significant information flows within the service area, as well as broadband wireless access in the Arctic zone with a poorly developed infrastructure in relation to communications Leningrad Military District.

REFERENCES

1. Evsjuk A.V. Informacionnoe protivoborstvo za infrastrukturu i raschjot Arktiki // Voennyj akademicheskij zhurnal. 2023. № 4. S.100–119.
2. Krivolapov O.O. Voennaja politika administracii D. Trampa v Arktike / SShA, Kanada- jekonomika-politika-kul'tura. 2019. № 4. S.31–44.
3. Churkin I.P. Razvitie sistemy boevogo upravlenija aoviaciej v Arkticheskoj zone otvetstvennosti za protivozdushnuju oboronu / Voennaja mysl'. 2023. № 4. S.624–70
4. N. Mihashenok. Voенно-мorskie sily NATO v Arktike // Zarubezhnoe voенное obozrenie. 2023 № 2. S.69–72.
5. Ivanov G.V., Kostjukov A.D., Tashlykov S.L. Voенно-istoricheskie aspekty osvoenija rossijskogo arkticheskogo prostranstva // Voенно-istoricheskij zhurnal.2020. № 8. S.4-12.
6. Gavrilov O.Ju. Sostojanie i perspektivy razvitija regional'noj bezopasnosti v Arktike // Voennaja mysl'. 2019. № 8. S.34–49.
7. A.D. Volodin, Kanada i problemy suvereniteta v Arktike v nachale HH veka.// Kanada- jekonomika-politika-kul'tura. 2019. № 6. S. 81–100.
8. A..E Subbotin, M.V. Markov. Osobennosti organizacii i provedenija meroprijatij po boevoj podgotovke v uslovijah Krajnego Severa.//Armejskij sbornik №4 2019 g., S. 87-98.
9. K. E. Ivanov, I.T. Ostashov, E.N, Kosjakov. Radiorelejnye i sputnikovye sistemy peredachi informacii special'nogo naznachenija./Uchebnik,-Spb.,2013 g.. S.67 -85.
10. M. E. Il'chenko, S. A. Kravchuk. Telekom-munikacionnye sistemy na osnove vysotnyh ajerostatnyh platform. – Kiev.: NPP «Naukova dumka» NAN Ukrainy, 2008 g. S.24-26, 43-45, 78-101.
11. M.S. Lohvickij, A.S. Sorokin, O.A. Shorin. Mobil'naja svjaz': standarty, struktury ,algoritmy, planirovanie.// M. Gorjachaja linija. Telekom. 2019.-294 c.
12. S.L. Gavlievskij, V.G. Kartashhevskij. Jevoljucija arhitektury mul'tiservisnyh setej shirokopolosnogo dostupa. // Vestnik svjazi №4. 2019.g. S.17-20.
13. N.A. Pylaev. Metodika ocenki verojatnostno-vremennyh harakteristik peredachi soobshhenij po sostavnym radiokanalam cherez retransljatory svjazi na besplodnyh letatel'nyh apparatah.//Informacija i kosmos,. № 4, 2021 g., S.18-21. ■

МОДЕЛЬ СИНХРОНИЗАЦИИ БАЗ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ АКТУАЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

Удальцов А. В.¹

Ключевые слова: синхронизация баз данных, актуальность информации, система поддержки принятия решений, информационные ресурсы, имитационное моделирование, AnyLogic.

Цель исследования: Разработка подхода к управлению синхронизацией баз данных, ориентированного на поддержание актуальности информационных элементов в системе поддержки принятия решений.

Метод исследования: Аналитический с привлечением математического аппарата для определения актуальности информационных элементов.

Результат исследования: в области систем поддержки принятия решений при выполнении задач планирования операций. В статье рассматриваются вопросы построения модели синхронизации баз данных в информационной системе специального назначения. Приведена аналитическая модель оценки вероятности сохранения актуальности информации в системе поддержки принятия решений на момент ее использования и построена имитационная модель синхронизации баз данных на основе актуальности информации в среде разработки AnyLogic. Данная модель позволяет оценить состояния актуальности информационных ресурсов и получить оптимальное время для синхронизации информационных ресурсов, хранящихся в базах данных.

Научная новизна: заключается в создании модели синхронизации баз данных, которая позволяет оценивать актуальность информации и определять оптимальное время для ее обновления, что улучшает управление данными в системах специального назначения.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированные системы управления (АСУ) широко используются для решения задач, связанных с управлением сложными объектами и процессами. Однако рост сложности этих задач и увеличение объемов обрабатываемой информации требует внедрения систем поддержки принятия решений (СППР), способных эффективно справляться с возросшей нагрузкой и помогать в принятии оптимальных решений.

Система поддержки принятия решений — это человеко-машинная система, которая помогает пользователю, опираясь на данные, математические модели и экспертные знания, анализировать различные варианты решения слабоструктурированных и неструктурированных задач и находить оптимальное или допустимое решение [1]. При этом основную роль в процессе принятия решения играет человек (лицо, принимающее решение, ЛПР). СППР лишь поддерживает и облегчает процесс выбора, но окончательное решение всегда остается за ЛПР. Выводы и рекомендации системы могут быть полностью или частично отклонены или скорректированы ЛПР на основе дополнительных знаний и субъективных суждений, не учитываемых системой.

Для принятия эффективных управленческих решений ЛПР необходимо обладать актуальными информационными ресурсами, которые хранятся в базах данных (БД). Эти ресурсы состоят из информационных элементов (ИЭ), которые могут находиться как в локальных, так и в удаленных хранилищах. Для обеспечения актуальности этих элементов требуется регулярная синхронизация баз данных. Цель данного исследования — разработка подхода к управлению синхронизацией БД, ориентированного на поддержание актуальности ИЭ.

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ АКТУАЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Задача синхронизации БД возлагается на систему управления базами данных (СУБД). Процесс синхронизации может быть как синхронный, так и асинхронный. При синхронном процессе данные фиксируются сразу после изменения ИЭ, а при асинхронном процессе — через строго определенный промежуток времени Δt :

$S_1(t) \rightarrow S_2(t)$ -синхронный процесс,
 $S_1(t) \rightarrow S_2(t+\Delta t)$ - асинхронный процесс,
где S_1, S_2 — удаленные сервера.

¹ Удальцов Александр Владимирович, адъюнкт Военной академии связи, Санкт-Петербург.
E-mail: axil2003@yandex.ru.

Поддержание актуальности информационных элементов (ИЭ) синхронным способом приводит к значительной дополнительной нагрузке на сеть передачи данных, а также на серверное оборудование и программное обеспечение, что может снижать доступность этих элементов. В то же время для ЛПР отсутствие доступа к ИЭ при выполнении оперативных задач является недопустимым [2]. При использовании асинхронного метода синхронизации возникает риск того, что ИЭ могут содержать устаревшие значения, что может привести к принятию неадекватных решений. Поэтому возникает важный вопрос: как определить оптимальную частоту синхронизации ИЭ

Для решения этого вопроса введем понятие коэффициента актуальности ИЭ $A(t)$, который изменяется в интервале от $[0;1]$. Пример зависимости коэффициента актуальности от времени показан на рис. 1.

Пусть Pr_1, Pr_2, \dots, Pr_M – задачи, которые решает ЛПР, а $In = \{In_1, In_2, \dots, In_n\}$ – множество информационных элементов, хранящихся в БД. Будем считать, что In_i , которые хранятся на том же ресурсе, к которому ЛПР имеет постоянный локальный доступ, всегда будут актуальными, т.е. $\forall t > 0, A_{in_i}(t) = 1$, и, соответственно, они не требуют синхронизации.

Если существует удаленный, то для него справедливо следующее условие:

$$\begin{cases} Y = 1, \text{ если } A(In_i) < A_i^{mp} \\ Y = 0, \text{ если } A(In_i) \geq A_i^{mp} \end{cases} \quad (1)$$

где $A(In_i)$ – актуальность i -го ИЭ; A_i^{mp} – требуемая пороговая актуальность i -го ИЭ; Y – бинарная индикаторная функция, указывающая на необходимость проведения синхронизации ($Y = 1$) или отсутствие такой синхронизации ($Y = 0$).

Предположим, задача Pr_j требует для своего решения подмножество ресурсов

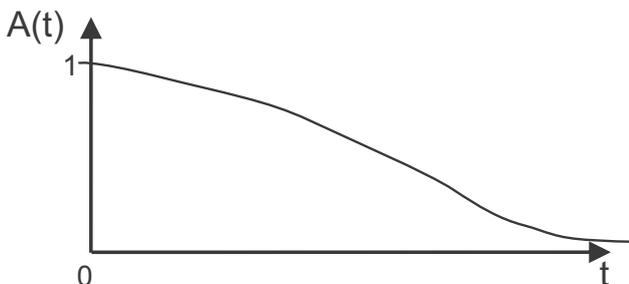


Рис. 1. Пример зависимости актуальности от времени

$In_j = \{In_1, In_2, \dots, In_{Mj}\}$, $In_j = \bigcup_{k=1}^{Mj} In_k$. Тогда для расчета $A(In_j)$ можно предложить следующую формулу:

$$A(In_j) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^{Mj} A(In_k), \quad (2)$$

Для расчета оценки вероятности актуальности информации в СППР предлагается использовать модель оценки вероятности сохранения актуальности информации в СППР на момент ее использования.

После первоначального ввода данных в систему о реально существующих информационных ресурсах эти данные, как было сказано ранее, устаревают со временем, т.е. теряют свою актуальность для выполнения СППР своих функций [3]. Требуемая пороговая актуальность синхронизируемых данных обеспечивается на основе своевременного выявления изменений, реализации эффективных технологий синхронизаций данных в СППР, а также за счет достаточного частого обновления применяемых данных в БД [4].

Вероятность сохранения актуальности информации в СППР $P(A_{In})$ на момент ее использования вычисляются по формулам:

- при изменении состояния ИЭ:

$$P(A_{In}) = \frac{\varepsilon}{\varepsilon + T_{\delta\delta}^{Pr_m}} \quad (3)$$

- при обновления информации в СППР вне зависимости от наличия или отсутствия изменения текущего состояния ИЭ:

$$P(A_{In}) = \frac{\varepsilon^2}{(\varepsilon + T_{\delta\delta}^{Pr_m})(\varepsilon + q)} \quad (4)$$

В случае, когда обновление информации в СППР осуществляется строго через постоянный интервал времени q , вычисляется по формуле.

$$P(A_{In}) = \frac{\varepsilon^2}{q(\varepsilon + T_{\delta\delta}^{Pr_m})} \left(1 - e^{-\frac{q}{\varepsilon}} \right) \quad (5)$$

где ε – время между изменениями ИЭ реальных объектов относительно информации, хранимой в БД, используемой в СППР;

$T_{\delta\delta}^{Pr_m}$ – время подготовки, передачи и ввода в БД

данных от источников информации;

q – среднее время между соседними обновлениями.

Необходимые для моделирования границы исходных значений ε задают в исходных данных решаемых задач в СППР.

Для вычисления времени подготовки, передачи и ввода в БД данных от источников информации, воспользуемся формулой:

$$T_{\text{бд}}^{\text{Pr}_m} = T_{\text{сч}}^{\text{Pr}_m} + T_{\text{зн}}^{\text{Pr}_m} \quad (6)$$

$T_{\text{сч}}^{\text{Pr}_m}$ – время считывания исходных данных Pr_m -ой задачи;

$T_{\text{зн}}^{\text{Pr}_m}$ – время записи обновленных данных при решении Pr_m -ой задачи.

Время считывания исходных данных складывается из времен выполнения запросов к БД.

$$T_{\text{сч}}^m = \sum_{s=1}^{S_{\text{Pr}_m}^{\text{сч}}} T_{\text{запр}}^{\text{Pr}_m s} \quad (7)$$

$T_{\text{запр}}^{\text{Pr}_m s}$ – время выполнения s -го запроса Pr_m -ой задачи;

$S_{\text{Pr}_m}^{\text{сч}}$ – количество запросов Pr_m -ой задачи.

Количество запросов и их параметры определяются составом и структурой считываемых ИЭ при решении задач, которые решает ЛППР [5]. Каждый запрос состоит из набора операций реляционной алгебры, операции поиска по сети с других узлов. Таким образом, операции над данными можно разделить на четыре типа: соединение; проекция; выбор; обмен данными между узлами по сети.

Значение времени выполнения каждого типа операций над ИЭ одного объема для однотипной вычислительной техники близки к среднему значению. Известные значения количества операций каждого типа, выполняемых на ИЭ, и объемах обрабатываемых ИЭ позволяют получить количественную оценку времени считывания ИЭ при решении задач ЛППР [6].

Учитывая аддитивность времени выполнения различных операций над ИЭ на одном узле, время считывания исходных данных при решении задач, можно рассчитать как сумму времен операций указанных четырех типов, образующих выполняемые при решении задачи запросы, по формуле:

$$T_{\text{сч}}^{\text{Pr}_m} = \sum_{s=1}^{S_{\text{Pr}_m}^{\text{сч}}} \sum_{l=1}^4 (N_l^{\text{Pr}_m s} \cdot t_l(V_s^{\text{счPr}_m})) \quad (8)$$

$S_{\text{Pr}_m}^{\text{сч}}$ – количество запросов, выполняемых Pr_m -ой задачей;

$N_l^{\text{Pr}_m s}$ – количество операций l -го типа, выполняемых s -м запросом Pr_m -ой задачи;

$V_s^{\text{счPr}_m}$ – время выполнения операции l -го типа над данными объема ;

$V_s^{\text{счPr}_m}$ – объем обрабатываемых данных s -м запросом Pr_m задачи в Кбайтах.

Время записи обновления данных при решении задачи ЛППР включает в себя операции обмена данными по сети и можно его представить как сумму операций обмена данными по сети:

$$T_{\text{зн}}^{\text{Pr}_m} = \sum_{s=1}^{S_{\text{Pr}_m}^{\text{зн}}} D_{\text{Pr}_m k}^{\text{зн}} \cdot t_4(V_{\text{Pr}_m k}^{\text{зн}}) \quad (9)$$

$D_{\text{Pr}_m k}^{\text{зн}}$ – количество обновляемых таблиц;

$S_{\text{Pr}_m}^{\text{сч}}$ – количество таблиц, обновляемых при решении Pr_m -ой задачи;

$t_4(V_{\text{Pr}_m k}^{\text{зн}})$ – время передачи k -ой таблицы по сети;

$V_{\text{Pr}_m k}^{\text{зн}}$ – объем k -ой таблицы в Кбайтах.

Сложив выражения получим среднее время подготовки, передачи и ввода в БД данных от источников информации $T_{\text{бд}}^{\text{Pr}_m}$:

$$T_{\text{бд}}^{\text{Pr}_m} = \sum_{s=1}^{S_{\text{Pr}_m}^{\text{сч}}} \sum_{l=1}^4 (N_l^{\text{Pr}_m s} \cdot t_l(V_s^{\text{счPr}_m})) + \sum_{s=1}^{S_{\text{Pr}_m}^{\text{зн}}} D_{\text{Pr}_m k}^{\text{зн}} \cdot t_4(V_{\text{Pr}_m k}^{\text{зн}}) \quad (10)$$

Таким образом полученное выражение позволяет определить количественное значение времени подготовки, передачи и ввода в БД данных от источников информации при решении задачи ЛППР.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ АКТУАЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Проведем экспериментальное исследование для оценки актуальности ИЭ, обновляющие БД за счет процесса синхронизации, обеспечивающих полезность данных в режиме реального функционирования СППР [7].

Важной задачей является определение обоснованного периода обновления данных о состоянии реальных объектов принимаемых в решении задач ЛППР. Возникает диалектическое противоречие, с одной стороны, обновление ИЭ по мере изменения их состояния необходимо для обеспечения достоверной информации с

последующим ее применением по назначению. С другой стороны, слишком частое обновление ИЭ необоснованно перегружает каналы связи и компьютерную память, приводит к программным сбоям, создает недопустимые временные задержки, может рассинхронизировать информационные процессы в СППР, нарушая тем самым режим реального времени функционирования самой СППР и лишая необходимой информационно-аналитической поддержки ЛПР в процессе управления информацией на рабочем месте [8].

Допустим полнота отражения оперативной информации об обстановке будет с вероятностью не ниже требуемой, тогда необходимо определить такой оптимальный период обновления информации в СППР, при котором актуальность ИЭ будет

$$A(In_i) \geq A_i^{mp}, A_i^{mp} = 0,95$$

Анализ совокупности обновляемой информации при круглосуточной работе позволил

выявить три варианта условий:

- обычные условия, характеризуемые частотой изменения состояния системы не реже раз в неделю;
- повышенные условия, возникающие в системе характеризуемые частотой изменения состояния не реже 1 раза в сутки;
- высокие условия, характеризуемые частотой изменения состояния системы не реже 4 раз в час.

Время подготовки, передачи и ввода в БД данных от источников информации съема, передачи и ввода в БД вычисляется по формуле (10) в среднем 5,3 с, 10,7 с, 20,4 с соответственно.

Модель оценки вероятности сохранения актуальности информации в СППР на момент ее использования рассчитываются по формулам (1), (5).

Моделирование для определения искомого периода обновления информации в информационной системе осуществлено по этим исходным данным с использованием модели оценки вероятности сохранения актуальности информа-

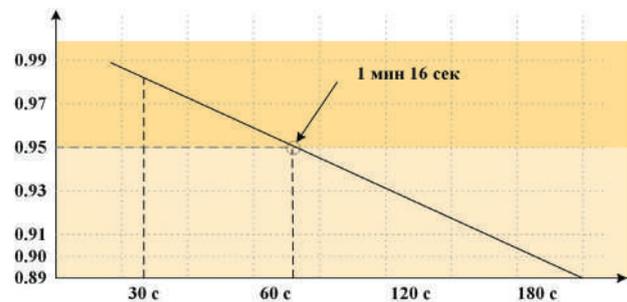
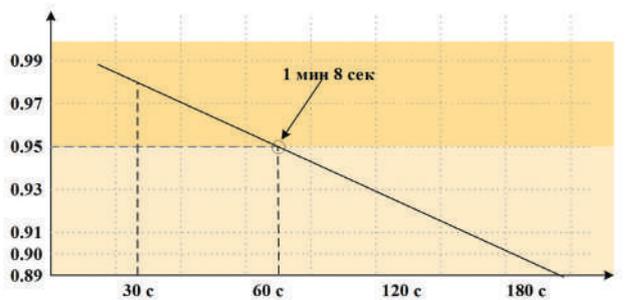


Рис. 2. Вероятность сохранения актуальности информации для высоких условий загрузки оборудования $T_{00}^1 = 5,3$ с и зависимость вероятности сохранения актуальности информации от периода обновления (в секундах)



$T_{00}^1 = 10,7$ с и зависимость вероятности сохранения актуальности информации от периода обновления (в секундах)

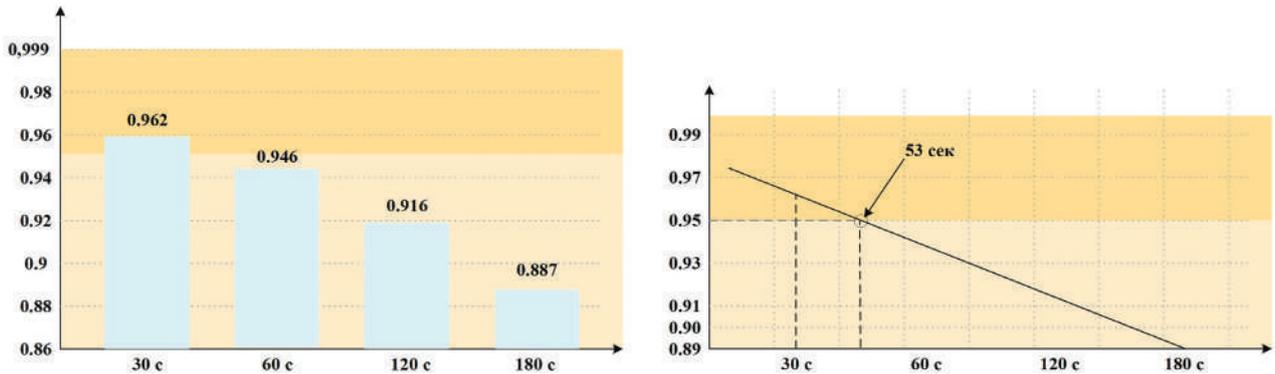


Рис. 4. Вероятность сохранения актуальности информации для высоких условий загрузки оборудования $T_{00}^1 = 20,4$ с и зависимость вероятности сохранения актуальности информации от периода обновления (в секундах)

ции в СППР на момент ее использования.

Сравнительные результаты расчетов приведены на рисунках 2-4.

Анализ результатов расчетов показывает, что для обеспечения актуальности информации в СППР для ЛПР с вероятностью не ниже 0,95, период обновления может быть выбран следующим образом:

- для высоких условий синхронизируемой информации и времени подготовки, передачи и ввода в БД данных от источников информации 5,3 сек – до 1 мин 18с;
- для высоких условий обновляемой информации и времени подготовки, передачи и ввода в БД данных от источников информации 10,7 сек – до 1 мин 8с;
- для высоких условий обновляемой информации и времени подготовки, передачи и ввода в БД данных от источников информации 20,4 сек – до 53 с.

– до 53 с.

Разработаем имитационную модель синхронизации баз данных на основе оценки вероятности сохранения актуальности информации в СППР на момент ее использования.

В качестве среды моделирования была выбрана среда имитационного моделирования AnyLogic 7.3.6. AnyLogic – современная среда разработки моделей на языке Java с русскоязычным графическим интерфейсом и тщательно продуманной контекстной справочной системой [9]. AnyLogic содержит большую библиотеку визуальных компонентов. Разработчик может также создавать и добавлять в среду собственные компоненты. Модели сохраняются как Java-апплеты. AnyLogic-модели обладают хорошими средствами 2D-3D симуляции, интерактивности и развитыми возможностями проведения экспериментов (в том числе оптимизационных). Поэтому модель

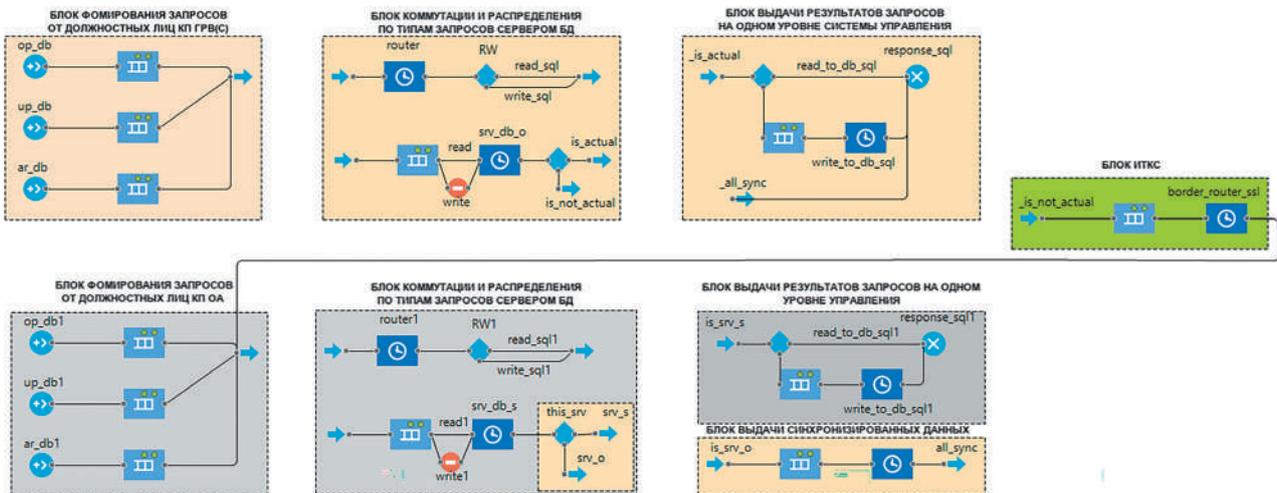


Рис. 5. Схема имитационной модели

позволяет пользоваться всеми преимуществами объектно-ориентированного моделирования. Схема имитационной модели представлена на рисунке 5.

На основе построенной имитационной модели была собрана статистика и проведен анализ системы при изменении времен выполнения различных операций над ИЭ на одном узле, считывания исходных данных при решении задач времени записи обновления данных при решении задачи ЛПР, времени между изменениями ИЭ реальных объектов относительно информации, хранимой в БД [10]. Симуляция проводится в режиме реального времени с вы-

полнением 3 информационно-расчетных задач, длительность моделирования – 10 суток. Существует возможность произвести моделирование в режиме виртуального времени.

ВЫВОДЫ

В статье рассмотрена модель синхронизации баз данных на основе актуальности информационных элементов в системе поддержки принятия решений. Результатом моделирования является вывод оптимального времени синхронизации для каждого информационного элемента с заданной требуемой актуальностью информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Допира Р.В., Потапов А.Н., Брежнев Д.Ю., Гетманчук А.В., Семин М.В. Оценка эффективности методического и алгоритмического обеспечения системы поддержки принятия решений специального назначения // Программные продукты и системы. 2019. № 2. С. 273–282.
2. Саенко И.Б. Анализ проблемы синхронизации локальных баз данных в распределенной информационной системе / И.Б. Саенко, А.В. Удальцов, А.В. Ермаков // Труды Научно-исследовательского института радио. – 2022. - №4. – С. 37–41. – DOI 10.34832/NIIR.2022.11.4.004.
3. ГОСТ Р 59341-2021. Системная инженерия. Защита информации в процессе управления информацией системы. М.: Изд-во стандартов, 2021.
4. Фабияновский И.Н. Обеспечение своевременности обмена информационными ресурсами на основе технологии распределенного реестра // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. Вып. 9. С. 184–194.
5. Храмов В.Ю. методы и средства проектирования баз данных /В.Ю. Храмов, А.И. Кустов, Э.Б. Ханов – Воронеж: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2015. – 188 с.
6. Хемди А.Таха. Исследование операций. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2016. 912 с.
7. Бирюков М.А., Брунилин А.А., Саенко И.Б. Имитационный подход к моделированию системы разграничения доступа к единому информационному пространству // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Сборник научных статей: в 4-х томах. Под редакцией С.В. Бачевского. 2017. С. 78–83.
8. Анфилатов В.С., Авраменко В.С., Пантюхин О.И. Теоретические основы автоматизации управления войсками и связью. Часть 1. Системные основы автоматизации управления войсками и связью: учеб. Пособие. СПб.: ВАС, 2014. 312 с.
9. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. [Текст] / Ю. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.–400 с.
10. Шаталова Ю.Г. Исследование модели обработки запросов к базе данных в среде AnyLogic // Восточно-Европейский журнал передовых технологий 4/2 (58) С. 48–50.

A DATA BASE SYNCHRONIZATION MODEL BASED ON INFORMATION RELEVANCE

Udaltsov A. V. ¹

Keywords: database synchronization, information relevance, decision support system, information resources, simulation modeling, AnyLogic.

Objective. Development of an approach to managing database synchronization aimed at maintaining the relevance of information elements in a decision support system.

Research method. Analytical with the involvement of mathematical tools for determining the relevance of informational elements.

¹ Alexander V. Udaltsov, adjunct of Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, Saint Petersburg, E-mail: axil2003@yandex.ru.

The result of the research in the field of decision support systems when performing operation planning tasks. The article discusses issues related to building a model for synchronizing databases in a special-purpose information system. An analytical model is presented for assessing the probability of preserving the relevance of information in a decision support system at the time of its use, and a simulation model for database synchronization based on the relevance of information has been built in the AnyLogic development environment. This model allows us to assess the state of relevance of information resources and obtain the optimal time for synchronizing information resources stored in databases.

The scientific novelty in creating a database synchronization model that allows assessing the relevance of information and determining the optimal time for updating it, which improves data management in special-purpose systems.

REFERENCES

1. Dopira R.V., Potapov A.N., Brezhnev D.Yu., Getmanchuk A.V., Semin M.V. Evaluation of the effectiveness of methodological and algorithmic support for a special-purpose decision support system // Software products and systems. 2019. No. 2. P. 273-282.
2. I.B. Saenko, Analysis of the problem of synchronization of local databases in a distributed information system / I.B. Saenko, A.V. Udaltsov, A.V. Ermakov // Proceedings of the Radio Research Institute. - 2022. - №4. – P. 37-41. – DOI 10.34832/NIIR.2022.11.4.004.
3. GOST R 59341-2021. System engineering. Information protection in the process of information management of the system. Moscow: Publishing House of Standards, 2021.
4. Fabiyanovsky I.N. Ensuring timeliness of exchange of information resources based on distributed ledger technology // Izvestiya Tula State University. Technical Sciences. 2021. Issue 9. P. 184-194.
5. Khramov V.Yu. Methods and means of database design / V.Yu. Khramov, A.I. Kustov, E.B. Khanov - Voronezh: Voronezh TsNTI - branch of FGBU "REA" of the Ministry of Energy of Russia, 2015. - 188 p.
6. Khemdi A. Takha. Operations research. Moscow: LLC "I.D. Williams", 2016. 912 p.
7. Biryukov M.A., Brunilin A.A., Saenko I.B. Simulation approach to modeling the access control system for a single information space // Actual problems of infotelecommunications in science and education. Collection of scientific articles: in 4 volumes. Edited by S.V. Bachevsky. 2017. P. 7
8. V.S. Anfilatov, V.S. Avramenko, O.I. Pantyukhin. Theoretical Foundations of Automation of Troops and Communications Control. Part 1. Systemic Foundations of Troops and Communications Control Automation: Textbook. St. Petersburg: Military Academy of Communications, 2014. 312 p.
9. Y. Karpov. Simulation Modeling of Systems. Introduction to Modeling with AnyLogic 5. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2005. 400 p.
10. Yu.G. Shatalova. Study of the Model of Processing Requests to the Database in the AnyLogic Environment. Eastern European Journal of Advanced Technologies 4/2 (58). Pp. 48–50. ■

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТИ ФЕЛЬДЪЕГЕРСКО-ПОЧТОВОЙ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Муратханов Д. Д.¹

Ключевые слова. Фельдъегерско-почтовая связь, подсеть, экипаж ФПС, протяженность маршрута, объем корреспонденции, эффективность.

Цель исследования. Разработка методики оценки эффективности функционирования сети фельдъегерско-почтовой связи

Метод исследования. В качестве основного метода исследования использован системный анализ, а также математические модели различных классов.

Результат. В работе рассмотрена методика оценки эффективности функционирования сети фельдъегерско-почтовой связи с учетом деструктивного воздействия противника, новых форм и способов построения сети. Представленная методика позволяет должностным лицам органов управления фельдъегерско-почтовой связи оценивать эффективность сети фельдъегерско-почтовой связи с учетом разработанной структуры.

Практическая полезность и новизна исследования заключается в разработке новой методики, которая позволит пересмотреть процесс планирования и организации сети ФПС.

ВВЕДЕНИЕ

Организация фельдъегерско-почтовой связи — это управленческая деятельность должностных лиц по ФПС, направленная на всестороннюю, качественную подготовку, развертывание и эффективное применение сети ФПС в операциях [5]. Организация ФПС рассматривается с точки зрения создания наиболее благоприятных условий для построения и функционирования сети ФПС, а также разработки алгоритмов деятельности, обеспечивающих достижение её целей. Применение должностными лицами методики оценки эффективности дает возможность не только расчета достигаемого сетью эффекта (выполнение поставленных задач) и затраченных при этом ресурсов, но и моделирования любого из процессов, существенно влияющих на достижение целей функционирования сети. Методика оценки позволяет обеспечить эффективное применение сети ФПС для высокой неопределённости условий ее применения при воздействии противника. Получить расчетные значения для качественного принятия решений на организацию ФПС в предстоящей операции.

Для исследования сети ФПС определяющим положением является выбор общей методологии исследования - системного подхода [2], с присущими ему аспектами (рис.1) и принципами (рис. 2):

РЕШЕНИЕ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Так как сеть ФПС является сложной системой, ее рассмотрение предлагается осуществить на основе принципов системного подхода. В качестве основного метода исследования определяем - системный анализ, который предполагает использование как логико-эвристических неформальных процедур, так и математических моделей различных классов. Системный подход представляет собой совокупность общих принципов и рекомендаций, определяющих научную и практическую деятельность исследователя при анализе и синтезе сложных систем [1].

Анализ известных математических методик оценки эффективности [4] сетей связи показывает, что качество организации сети связи представляется парой показателей, отражающих прогнозируемую эффективность применения сети связи в предстоящей операции $K_{ПР}^C$ и качество организации проведенного планирования ($K_{ПЛ}$).

$$K_{ОС} = \langle K_{ПР}^C, K_{ПЛ} \rangle \quad (1)$$

Рассматриваемая пара показателей позволяет получить наиболее принципиальную информацию о прогнозируемых результатах управленческой деятельности по подготовке сети свя-

¹ Муратханов Дмитрий Дмитриевич, начальник пункта управления фельдъегерско-почтовой связи Центрального аппарата Министерства обороны Российской Федерации, г. Москва. E-mail: Murathanov9754@yandex.ru

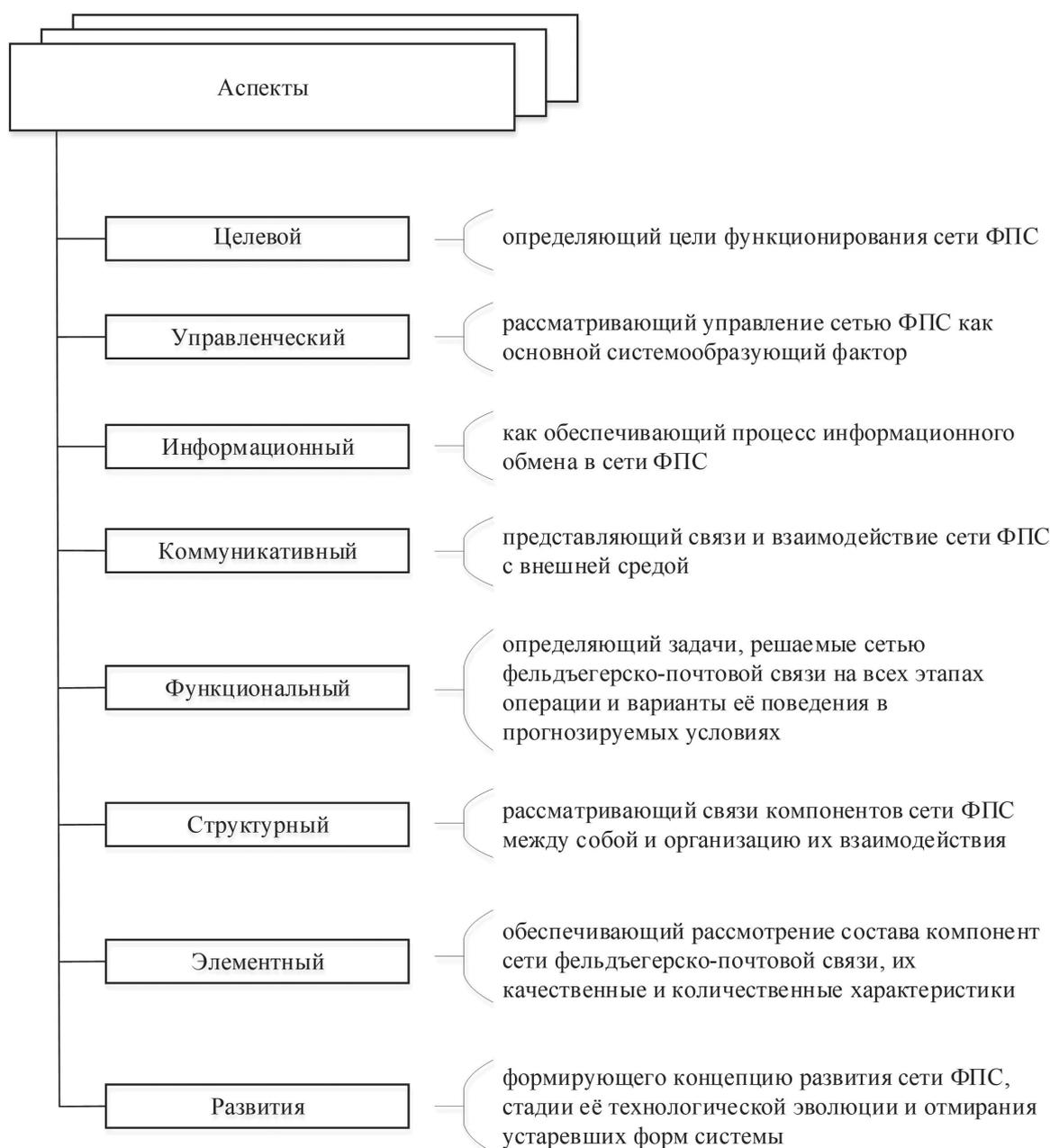


Рис. 1. Аспекты, рассмотрения сети ФПС

зи к предстоящему применению, но, ввиду специфики сети ФПС, не в полной мере соответствует цели ее функционирования.

Для обеспечения объективности анализа осуществляется декомпозиция исследуемой системы. При этом, в сети ФПС специального назначения в операциях существуют две подсети: подсеть срочных отправлений (СО) и подсеть воинских отправлений (ВО). Основным назначением подсети СО является выполнение следующей задачи: своевременная доставка в штабы

и войска срочных отправлений, обеспечивающих оперативное управление войсками при подготовке и в ходе операции. Для оценки степени выполнения задач [8] подсеть СО выбран следующий показатель - вероятность выполнения задач экипажами фельдсвязи за сутки операции (Q).

Основным назначением подсети ВО является обеспечение служебной и секретной переписки, между штабами, учреждениями и другими органами управления, а также предоставление услуг почтовой связи личному составу частей

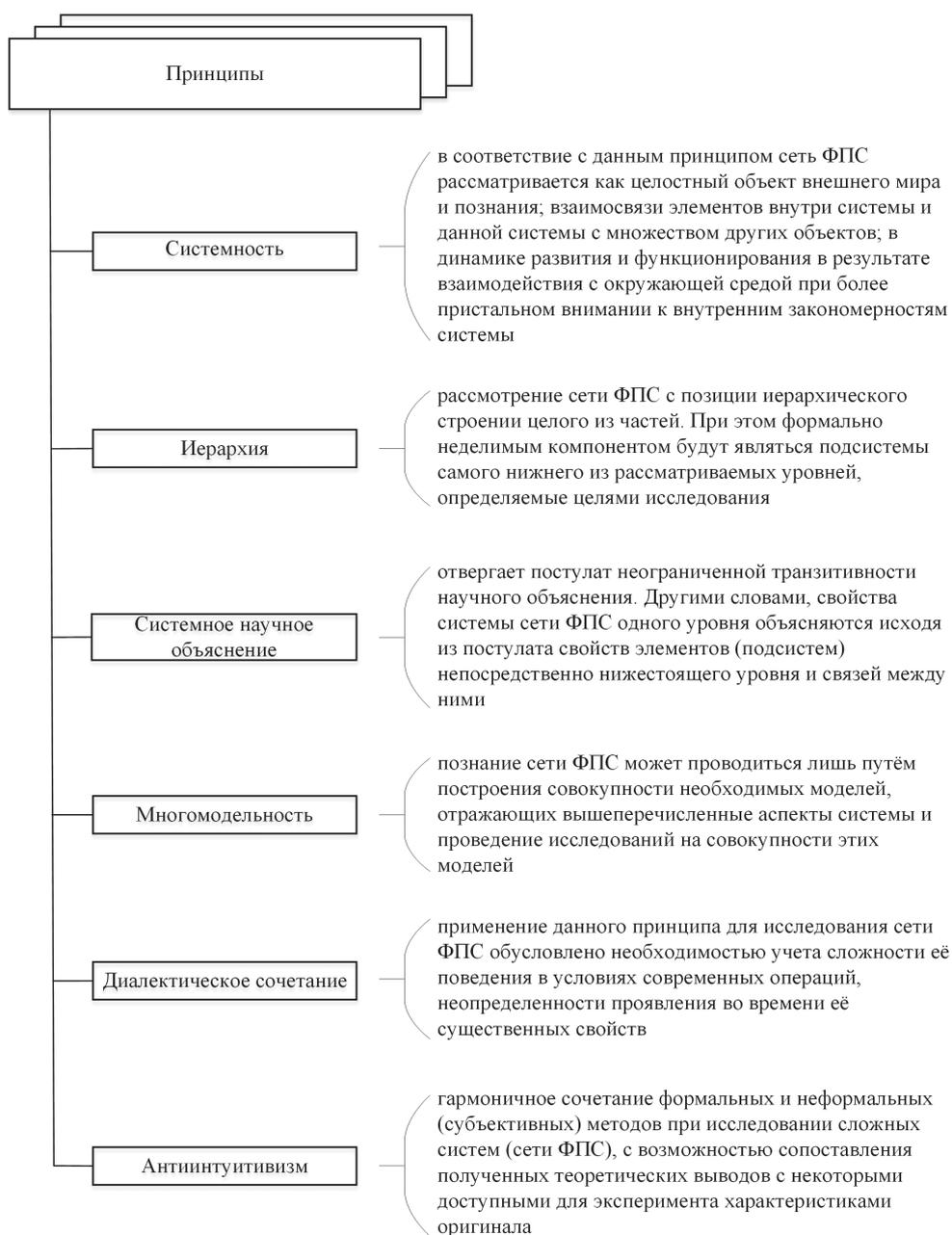


Рис. 2. Аспекты, рассмотрения сети ФПС

и воинским подразделениям в форме доставки им почтовых отправлений и периодической печати. Показателем степени выполнения задач подсетью ВО выбран объем отправок, обрабатываемых и доставляемых подсетью за сутки операции - λ_{Σ} .

Важным этапом в проведении исследования сети ФПС в предстоящей операции является выделение её существенных свойств. Существенные свойства – это свойства, оказывающие решающее (наибольшее) влияние на качество системы с учетом цели её функционирования [9].

Таковыми существенными свойствами функционирования подсетей СО, как процесса доставки срочных отправок, и подсети ВО, как процесса обеспечения плановой служебной переписки, в том числе и секретной, а также отправки почтовых отправок в операциях является своевременность и ресурсопотребление [10].

Своевременность является одним из важнейших свойств исследуемых подсетей при их функционировании в условиях всех видов воздействия противника, в результате которого предполагается разрушение железнодорож-

ной сети, аэродромов, блокирование авиации и автомобильных дорог [6]. Она характеризуется способностью подсетей СО и ВО доставлять секретные и почтовые отправления в установленные сроки в условиях комплексного воздействия противника.

$$t_{\text{дост}} \geq t_{\text{дост}}^*, \quad (2)$$

где: $t_{\text{дост}}$ и $t_{\text{дост}}^*$ – требуемое и прогнозируемое время доставки отправок.

Ресурсопотребление, наблюдаемое при функционировании подсетей СО и ВО рассмотрено, как затраты подсетей при выполнении своих задач. В качестве затраченных для достижения цели ресурсов целесообразно выбрать расход моторесурсов (Z) для обеспечения доставки потоков всех типов отправок, пропорциональных длине маршрутов:

$$Z = \sum_{i=0}^N L_{\text{П}i}, \quad (3)$$

где: $L_{\text{П}i}$ – путь пройденный ПСС по i -му маршруту, N – количество спланированных маршрутов.

Еще одно существенное свойство исследуемой сети ФПС, которое позволяет решать свою основную задачу по управлению войсками в прогнозируемых условиях функционирования в операции является – устойчивость [7]. Лишь обладая в необходимой степени устойчивостью, подсеть СО в операции выполняет основное функциональное предназначение – обеспечить обработку и доставку срочных отправок в необходимом для управления войсками объеме и с заданным качеством.

Устойчивость подсетей СО и ВО представляется способностью выполнять стоящие задачи по доставке срочных и воинских отправок в условиях всех видов воздействия противника. Количественно устойчивость (Q) оценивается с помощью вероятности поражения доставочных средств в условиях всех видов комплексного воздействия противника ($P_{\text{КОМ}}^{\text{ПСС}}$).

$$Q = 1 - P_{\text{КОМ}}^{\text{ПСС}} \quad (4)$$

$$P_{\text{КОМ}}^{\text{ПСС}} = (P_{\text{ДРГ}}, P_{\text{ПОР}}, P_{\text{БПЛА}}, P_{\text{ВО}}), \quad (5)$$

где: $P_{\text{ПОР}}$ – вероятность поражения ПСС в условиях комплексного воздействия противника;
 $P_{\text{КОМ}}^{\text{ПСС}}$ – вероятность захвата ПСС силами ДРГ противника;

$P_{\text{ДРГ}}$ – вероятность косвенного огневого поражения ПСС;

$P_{\text{БПЛА}}$ – вероятность обнаружения и поражения ПСС силами БПЛА;

$P_{\text{ВО}}$ – вероятность поражения ПСС высокоточным оружием противника.

По перечисленным свойствам сети ФПС объединения в предстоящей операции к ней предъявляются требования, уровень которых определяется требованиями направления к связи по своевременности доставки всех видов сообщений. Характер этих требований и их количественные показатели вытекают из характера современных операций, оперативных и физико-географических условий театра военных действий и потребностей системы управления, что также позволяет перейти к оценке эффективности функционирования сети ФПС.

Эффективность сети ФПС специального назначения возможно оценить лишь в процессе её функционирования в ходе операции [8]. При этом разные варианты сети могут иметь разную приспособленность к выполнению поставленных перед ними задач по обработке и доставке секретной и почтовой корреспонденции. В этом случае и степень соответствия, требуемого (желаемого) и реально достигаемого результатов при функционировании сетей фельдьегерско-почтовой связи будет различной. В итоге эффективность представляет качество процесса функционирования сети, что позволяет говорить также и об эффективности принимаемого решения на организацию фельдьегерско-почтовой связи. Таким образом, эффективность обработки и доставки секретной и почтовой корреспонденции в процессе функционирования сети ФПС в операции, эффективность решения на организацию фельдьегерско-почтовой связи и прогнозирование этого же процесса в ходе планирования ФПС, будет считаться идентичными понятиями на основе общности цели и у решения, и у сети ФПС.

Под эффективностью рассматривается свойство сети ФПС соответствовать своему предназначению при функционировании в ходе операции с учётом всех видов затрачиваемых при этом ресурсов и воздействий противника.

Оценка эффективности функционирования сети ФПС является основной задачей при принятии решений и выборе лучшего из её вариантов. Под критерием эффективности рассмотрена характеристика (мера), которая выражает количественно эффективность каждого рассматриваемого решения и послужит основой для выбора лучшего из них. В научной литера-

туре широко используется векторный показатель «эффективность-стоимость» [11]. В этом случае при сравнении альтернативных вариантов сетей ФПС при одинаковых исходных условиях по числу, направлениям и объёму прогнозируемых задач, лучшим следует считать тот, который предполагает наименьший объём затрат при равном прогнозируемом эффекте.

Таким образом, оценка эффективности с одной стороны должна отражать характеристику результатов функционирования сети ФПС, а с другой - учитывать затрачиваемые для этого ресурсы. Поэтому использован широко распространённый способ оценки эффективности «эффект-затраты».

Оценку эффективности двух подсетей, сравниваемых с предъявляемыми к ним требованиями, можно представить в виде двух кортежей показателей «Эффект-Затраты»,

$$\langle G_{CO}^p, Z_{CO}^p \rangle, \langle G_{BO}^p, Z_{BO}^p \rangle, \quad G_{CO}^p \geq G_{CO}^*, G_{BO}^p \geq G_{BO}^* \quad (6)$$

G_{CO}^p, G_{BO}^p – предъявляемые требования (задачи) к фельдъегерской и почтовой связи;

$G_{CO}^*, (G_{BO}^*)$ – реальный (прогнозируемый) эффект функционирования подсети фельдсвязи и почтовой связи, соответственно;

Z_{CO}^p, Z_{BO}^p – затраты сил и средств на достижение полученного эффекта в подсетях.

Физический смысл эффекта функционирования подсети СО заключается в своевременной доставке срочных отправок до получателей, независимо от объёма одновременно доставляемых отправок. Показателем, отражающим сформулированный физический смысл эффекта для подсети СО выбрана вероятность своевременного выполнения задачи по доставке срочных отправок до корреспондентов в определенный период операции, например, за сутки (Q_i). Численное значение показателя функционирования подсети СО определяется из следующего выражения:

$$G_{CO}^p = \frac{\sum_{l=1}^N \delta_l \cdot m_l}{n} | t_{di} \leq t_{di}^*, \quad (7)$$

где:

$\delta_l = \begin{cases} 1, & \text{если } Q_l \geq 0.95 \\ 0, & \text{если } Q_l < 0.95 \end{cases}$ – индикаторная функция прогнозируемого выполнения задачами l -м экипажем. Значение $Q_l \geq 0.95$, установлено для информационных направлений первой категории [7]. Q_l – прогнозируемая вероятность выполнения задачи по доставке срочных отправок l -м экипажем;

пажем;

N – количество экипажей, задействованных в течение суток;

$n = \sum_{l=1}^N m_l$ – общее число отправок, переданных для доставки экипажам подсети СО за сутки операции;

m_l – количество срочных отправок, доставляемых за сутки операций l -м экипажем;

t_{di} и t_{di}^* – требуемое и прогнозируемое время доставки срочных отправок.

Критерием соответствия эффекта функционирования подсети СО, предъявляемым к ней требованиям, является выполнение всех задач по доставке срочных документов.

При выполнении задач экипажами фельдсвязи могут возникнуть ряд объективных причин, затрудняющих или препятствующих их выполнению.

Основными из них могут быть:

- огневое поражение ПСС на маршруте;
- действия ДРГ по целенаправленному (случайному) захвату ПСС с экипажем фельдсвязи и перевозимыми документами;
- обнаружения и поражения ПСС силами БПЛА противника;
- поражения ПСС высокоточным оружием противника;
- технические неисправности ПСС в пути;
- завалы, пожары, разрушения или другие препятствия на спланированном маршруте.

Первые четыре причины однозначно ведут к срыву выполнения задачи l -м экипажем, а оставшиеся причины могут увеличить время доставки документов. Последние характерно как для наземных ПСС (автомобильных, БТР, БМП, танк, мотоцикл), так и для воздушных (вертолет, самолет), и морских (водных) ПСС. Данные условия представлены следующей системой выражений:

$$\begin{cases} Q_i = (1 - P_{пор i}^{псс})(1 - P_{дрг i}^{псс})(1 - P_{бпла i}^{псс})(1 - P_{вто i}^{псс}) \\ t_{di} = f(L_{mi}, V, P_{гмиг}, K^{псс}) \end{cases} \quad (8)$$

$P_{пор i}^{псс} = f(\rho_{mi}, L_{mi})$ – вероятность косвенного огневое поражения ПСС на i -м маршруте длиной L_{mi} (км) и характеризующегося ρ_{mi} ($\frac{1}{км}$) удельным коэффициентом прогнозируемого поражения подвижных точечных целей в g -ой зоне полосы обороны (наступления) подразделений; $P_{дрг i}^{псс} = f(n_{дрг}, K_{охр}, L_{mi})$ – вероятность захвата n -го ПСС на маршруте силами ДРГ, зависящая от их количества ($n_{опз}$) действующих в полосе под-

разделений, целей и тактики их действий; уровня охраны n -го ПСС ($K_{\text{опр}}$); протяженности маршрута (L_{mi});

V_n – средняя скорость движения (по ТТХ) n -го ПСС;

L_{mi} – протяженность i -го маршрута;

$P_{z_{mij}}$ – вероятность готовности g -го участка i -го маршрута.

Захват срочных документов может повлечь за собой компрометацию замысла командующего, что может привести к срыву предстоящей операции. Следовательно, при планировании подсети СО должностные лица по ФПС должны предусмотреть тип средств доставки, соответствующий (по характеристикам мобильности и живучести) определенному объему, и обеспечить надлежащую его охрану на маршруте. Оценка мобильности на объектовом уровне должна, в первую очередь, зависеть от выбранного подвижного средства для своевременной доставки отправок (n). Это зависит от типа подвижного средства, его загрузки (λ_{ji}), технической готовности ($K_{\text{ТГ}}^{\text{ПСС}}$), прогнозируемого поражения подвижной цели (ρ_{ji}) и протяженности маршрута (L_{mi}), готовности маршрута ($P_{z_{mi}}$) и допустимого времени доставки документов ($t_{\text{Д}}^{\text{доп}}$).

$$\delta_{jin} = f(t_{\text{Д}}^{\text{доп}}, \lambda_{ji}^*, K_{\text{ТГ}}^{\text{ПСС}}, P_{\text{ГМ}}, L_{mi}, \rho_{ij}) \quad (9)$$

Если назначение подвижного средства позволяет обеспечить выполнение требований по каждому из перечисленных параметров выражения, то $\delta_{jin}=1$. Если хотя бы один из параметров не обеспечивает необходимого уровня, то данное подвижное средство не удовлетворяет «расширенному» требованию мобильности.

В общем случае возможно применение элементов хитрости и военного искусства по вводу противника в заблуждение в отношении истинности маршрута отправки документов, одновременно используя обходные маршруты или использование ложных маршрутов. Таким образом, если все мероприятия по противодействию ДРГ, БПЛА и ВТО спланированы и будут выполнены, то вероятности захвата и уничтожения ПСС силами ДРГ, БПЛА и ВТО являются бесконечно малой величиной ($P_{\text{дрги}}^{\text{ПСС}} \rightarrow 0$; $P_{\text{бплаi}}^{\text{ПСС}} \rightarrow 0$; $P_{\text{втоi}}^{\text{ПСС}} \rightarrow 0$), то выражение (4) примет вид:

$$Q_i = 1 - P_{\text{пори}}^{\text{ПСС}} \quad (10)$$

Вероятность косвенного огневого поражения ПСС на маршруте зависит от протяженности маршрута и его удаления, как от линии соприкосновения войск, так и от объектов первоочередного удара противника. При этом степень «опасности» любого g -го участка i -го маршрута выражается через удельный коэффициент прогнозируемого (реального) поражения подвижной цели (ρ_{ji}), физический смысл которого отражает вероятность поражения подвижного объекта при пробеге дистанции им одного километра данного g -го участка маршрута. Чем протяженнее участок i -го маршрута (L_{mij}) и чем выше его «опасность», тем выше вероятность поражения подвижного средства $P_{\text{пори}}^{\text{ПСС}}$ на данном маршруте. Для наилучшего результата на этапе прогноза живучести ПСС сети ФПС эту зависимость можно аппроксимировать следующим выражением:

$$P_{\text{пори}}^{\text{ПСС}} = 1 - \exp(-\rho_{ij}L_{mi}). \quad (11)$$

Учитывая, что весь i -ый маршрут может состоять из G участков различной протяженности и «опасности», то для всего маршрута вероятность поражения ПСС будет определяться следующим образом:

$$P_{\text{пори}}^{\text{ПСС}} = 1 - \exp(-\sum_{i=1}^G \rho_{ij}L_{mi}). \quad (12)$$

Подставляя данное выражение в (10):

$$Q_i = \exp(-\sum_{i=1}^G \rho_{ij}L_{mi}). \quad (13)$$

Выражение позволяет с достаточной точностью проводить расчёты, как для наземных средств доставки, так и для воздушных и морских (водных) ПСС, с той лишь поправкой, что для одной и той же местности «опасность» наземных (морских, водных) и воздушных маршрутов будет различной.

Из выражения (12) видно, что показатель вероятности выполнения задачи СО не учитывает своевременность доставки корреспонденции адресату. Анализ физических процессов [3], влияющих на своевременность выполнения задачи показывает, что она зависит от нормативной скорости выбранного средства доставки (V_n), протяженности участков маршрута (L_{mg}) с различной вероятностью их готовности ($P_{z_{m}}$) и от технической готовности средств доставки ($K_{\text{ТГ}}^{\text{ПСС}}$).

Прогнозируемое время доставки отправления l -ым экипажем может быть определено из выражения:

$$t_{\text{Ди}}^* = \frac{1}{V_n K_{\text{ТГ}}^{\text{ПСС}}} \sum_{g=1}^m \frac{L_{mg}}{P_{\text{ГМ}}}, \quad (14)$$

где: L_{mg} – протяженность g -го участка i -го маршрута;

m – количество участков различной готовности.

Наиболее информативным, с точки зрения учета затраченных ресурсов, является показатель, отражающий суммарный суточный пробег подвижных средств с экипажами, выполняющими поставленные задачи. Тогда в любых ситуациях суммарный моторесурс ПСС объективно отражает затраты подсети СО, необходимые для решения поставленных задач. Более того, этот показатель способен учитывать пробег ПСС по обходным и ложным маршрутам. Выражение для расчета затрат подсети СО представлено в алгоритме оценки эффективности (рис. 3) и имеет следующий вид:

$$Z_{CO} = \sum_{g=1}^N L_{ng}, \quad (15)$$

где: L_{ng} – путь пройденный ПСС при выполнении задания;

N – число независимых задач экипажам ФПС по доставке срочных отправок за сутки.

Необходимо отметить, что L_{ng} в принципе отличается от L_{Mi} тем, что после доставки корреспонденции адресату экипаж может вернуться на станцию ФПС своего ПУ по другому маршруту, вследствие чего поменяется протяженность маршрута.

В отличие от подсети СО, физический смысл эффекта, создаваемого в процессе функционирования подсети ВО, выражается объемом реально доставленной адресатам секретной и почтовой корреспонденции, отнесенную к прогнозируемому для доставки объему отправок

$$G_{BO} = \frac{\lambda_{\Sigma_{BO}}^p}{\lambda_{\Sigma_{BO}}^*} |\{t_{di} \geq t_{di}^*\}|, \quad (16)$$

где: $\lambda_{\Sigma_{BO}}^p$ – объем реально доставленной корреспонденции в подсети ВО;

$\lambda_{\Sigma_{BO}}^*$ – прогнозируемый объем плановых отправок в подсети ВО;

t_{dj}^* – время доставки j -го типа корреспонденции;

t_{oj} – предельное (требуемое) время доставки корреспонденции j -го типа.

Суммарный объем потока отправок складывается из всех частных потоков, которые циркулируют на каждом информационном направлении:

$$\lambda_{\Sigma_{BO}} = \sum_{b=1}^{N_{ин}} (\lambda_b^* + \Delta\lambda_b), \quad (17)$$

где: $\Delta\lambda_b$ – дополнительный объем потока отправок, вызванный предшествующими ошибками

(засылами) операторов при сортировке отправок для b -го информационного направления;

$\lambda_b^* = \sum_{b=1} \lambda_{bj}$ – прогнозируемый поток отправок на b -ом информационном направлении с учетом всех (λ_{bj}^*) типов корреспонденции ($j=1 \dots S$);

$N_{ин}$ – общее количество информационных направлений, включенных в подсеть ВО.

Организационно корреспонденты различных информационных направлений обеспечиваются ФПС через различные узлы, станции и обменные пункты сети ФПС, с учетом их территориального тяготения и расположением относительно спланированных маршрутов для средств доставки. В этом случае потенциальная пропускная способность (λ_{Σ}) подсети ВО составит следующую величину:

$$\lambda_{\Sigma_{BO}} = \sum_{t=1}^{N_{уфпс}} \delta_{tkbi} \sum_{k=1}^{N_{сфпс}} \delta_{kbi} \sum_{i=1}^{N_{мкт}} \delta_{bi} \sum_{b=1}^{N_{ин}} (\lambda_b^* + \Delta\lambda_b), \quad (18)$$

где: $N_{уфпс}$ – количество развернутых УФПС;

$N_{сфпс}$ – количество СФПС, обслуживаемых t -ым УФПС;

$N_{мкт}$ – количество маршрутов, организованных от k -ой СФПС или t -го УФПС;

$N_{ин}$ – количество корреспондентов, включенных в i -й маршрут;

$\delta^{kbi} = 1$, если t -ый УФПС (k -ая СФПС, i -ый маршрут) участвует в доставке почтовых отправок на b -ом информационном направлении;

$\delta^{kbi} = 0$, в противном случае.

Выражение описывает полный грузооборот подсети ВО, который прогнозируется или может быть реально выполнен во время операции без учёта возможного воздействия противника и других дестабилизирующих факторов, при выполнении условия:

$$\lambda_{\Sigma_{BO}} \geq \lambda_{\Sigma_{BO}}^*. \quad (19)$$

В ходе операции реально функционирующая подсеть ВО может подвергаться как целенаправленному, так и косвенному воздействию противника, что выразится в снижении её устойчивости. Устойчивость подсети ВО должна оцениваться на объектовом и сетевом уровнях. Показателями объектовой устойчивости рассматриваются вероятности выживания пунктов обработки отправок (УФПС, СФПС, обменные пункты) и средства доставки. На сетевом уровне устойчивость оценивается через конечный эффект боевого применения сети - суточный объём реально доставленной корреспонденции

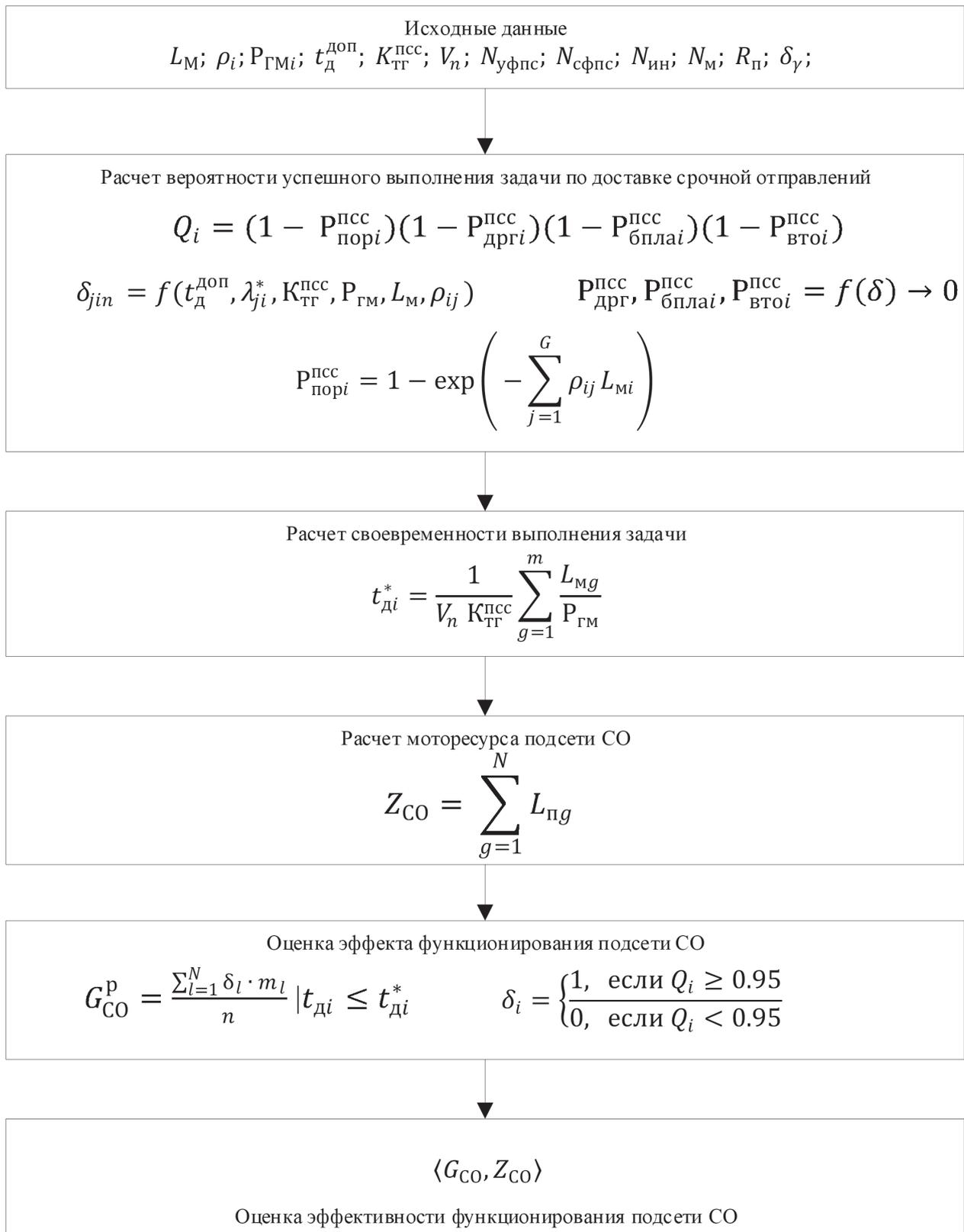


Рис. 3. Расчет эффективности подсети СО

$$\lambda_{bo}^p = \sum_{t=1}^{N_{уфпс}} \delta_{tkbi} \sum_{k=1}^{N_{сфпс}} \delta_{kbi} \sum_{i=1}^{N_{мкт}} \delta_{bi} \sum_{b=1}^{N_{инб}} (\lambda_b^* + \Delta\lambda_b), \quad (20)$$

где: $\delta_{tkbi} = \begin{cases} 1, & \text{если } P_{\text{выж}} \geq 0.8 \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$ – индикаторная функция.

Выражение учитывает конечную живучесть узлов ФПС ($P_{\text{выж}}^{\text{уфпс}}$), станций ($P_{\text{выж}}^{\text{сфпс}}$) и подвижных средств ($P_{\text{выж}}^{\text{псс}}$). Анализ тактики огневого поражения целей вероятного противника показывает, что ни один из элементов сети ФПС не заключается в план целенаправленного огневого поражения противника. Следовательно, оценка объектовой устойчивости (живучести) элементов сети [6] ФПС ограничивается рассмотрением косвенного воздействия противника. Выживание элементов сети ФПС в большей степени будет зависеть от того, как они размещаются на местности относительно элементов оперативного построения войск и других потенциально опасных объектов.

Для расчёта вероятностей выживания пунктов обработки корреспонденции (УФПС, СФПС, ОП) взята методика [10], позволяющая учесть удаление элементов сети от объектов целенаправленного поражения и характеристики применяемых огневых средств противником.

$$P_{\text{выж}}^g = \begin{cases} 0,5 - \phi(R - \sqrt{R_{\text{по}}^2} - 1), & \text{при } R \leq 1,5 \text{ км и } R_{\text{по}} > 3 \text{ км} \\ \quad \quad \quad \text{при } R \geq 1,5 \text{ км и } R_{\text{по}} > 1,8 \text{ км} \\ 1 - \left(\frac{R_{\text{по}}^2}{2+0,5R_{\text{по}}^2} \exp \left[\frac{R^2}{2+0,5R_{\text{по}}^2} \right] \right), & \text{при } R \leq 1,5 \text{ км и } R_{\text{по}} > 1 \text{ км}, \\ 1 - \left(1 - \exp \left[- \left[\frac{R^2}{1,813 - 0,0159R^2} \right]^2 \right] \right), & \text{при } R \leq 1,5 \text{ км и} \\ \quad \quad \quad 1 \text{ км} \leq R_{\text{по}} \leq 3 \text{ км} \end{cases} \quad (21)$$

где: $\phi(x)$ – интеграл вероятности Лапласа;

$$R = \frac{\alpha}{\delta_\gamma}; \quad R_{\text{по}} = \frac{R}{\delta_\gamma}.$$

R_n – радиус приведенной зоны поражения, км;

δ_γ – условное среднеквадратичное отклонение эпицентра взрыва от точки прицеливания;

α – удаление элемента сети от объекта огневого удара.

При наличии информации о типах средств поражения и месте их применения, можно рассчитать удаление, на котором элементы сети ФПС будут сохранять свою работоспособность с некоторой вероятностью.

В соответствии с выражением (12) вероятность выживания ПСС на маршруте будет рассчитана аналогичным образом:

$$P_{\text{выжg}}^{\text{псс}} = \exp - \left(\sum_{g=1}^{N_{оп}} \rho_{ig} L_{Mig} \right), \quad (22)$$

где: $\rho_{ij} \left(\frac{1}{\text{км}} \right)$ – удельный коэффициент поражения ПСС на g -ом участке i -го маршрута;

L_{Mij} (км) – протяженность g -го участка i -го маршрута;

$N_{оп}$ – количество участков различной «опасности».

Время нахождения любого типа отправлений в подсети ВО состоит из времени транспортировки корреспонденции от узла ФПС до адресата по всем включенным в цепь маршрутам и времени на обработку (сортировку) документов на узлах и станциях ФПС:

$$t_{Дpj}^{\text{во}} = t_{Тpj}^{\text{во}} + t_{обрpj}^{\text{во}}, \quad (23)$$

где: $t_{Дpj}^{\text{во}}$ – время доставки j -го типа отправлений p -му адресату в подсети ВО;

$t_{Тpj}^{\text{во}}$ – время транспортировки j -го типа отправлений от УФПС до p -го адресата;

$t_{обрpj}^{\text{во}}$ – время обработки j -го типа отправлений для всех адресатов.

При этом должно выполняться следующее ограничение:

$$t_{Дpj}^{\text{во}} \geq t_{Дpj}^{\text{во}*}, \quad (24)$$

где: $t_{Дij}^{\text{во}}$ – предельное время доставки j -го типа отправлений p -му адресату.

Эти данные приводят к выводу, что при организации работы подсети необходимо ориентироваться на своевременность доставки отправлений с наименьшими предельными сроками, т.е. на своевременную доставку газет и секретных отправлений. Для этой цели необходимым и достаточным является планирование не менее одного маршрута в сутки на каждом информационном направлении. Сосредоточение усилий всех должностных лиц по ФПС на бесперебойном функционировании спланированного графика работы подвижных средств на маршрутах обеспечит своевременную доставку всей корреспонденции.

Оценка своевременности доставки отправлений в общем за подсеть будет удовлетворительной, если соотношение (24) будет выполняться для самых удалённых корреспондентов сети.

$$t_{Дpj}^{\text{во}} = \max t_{Дpj}^{\text{во}} \geq t_{Дpj}^{\text{во}*} \quad (25)$$

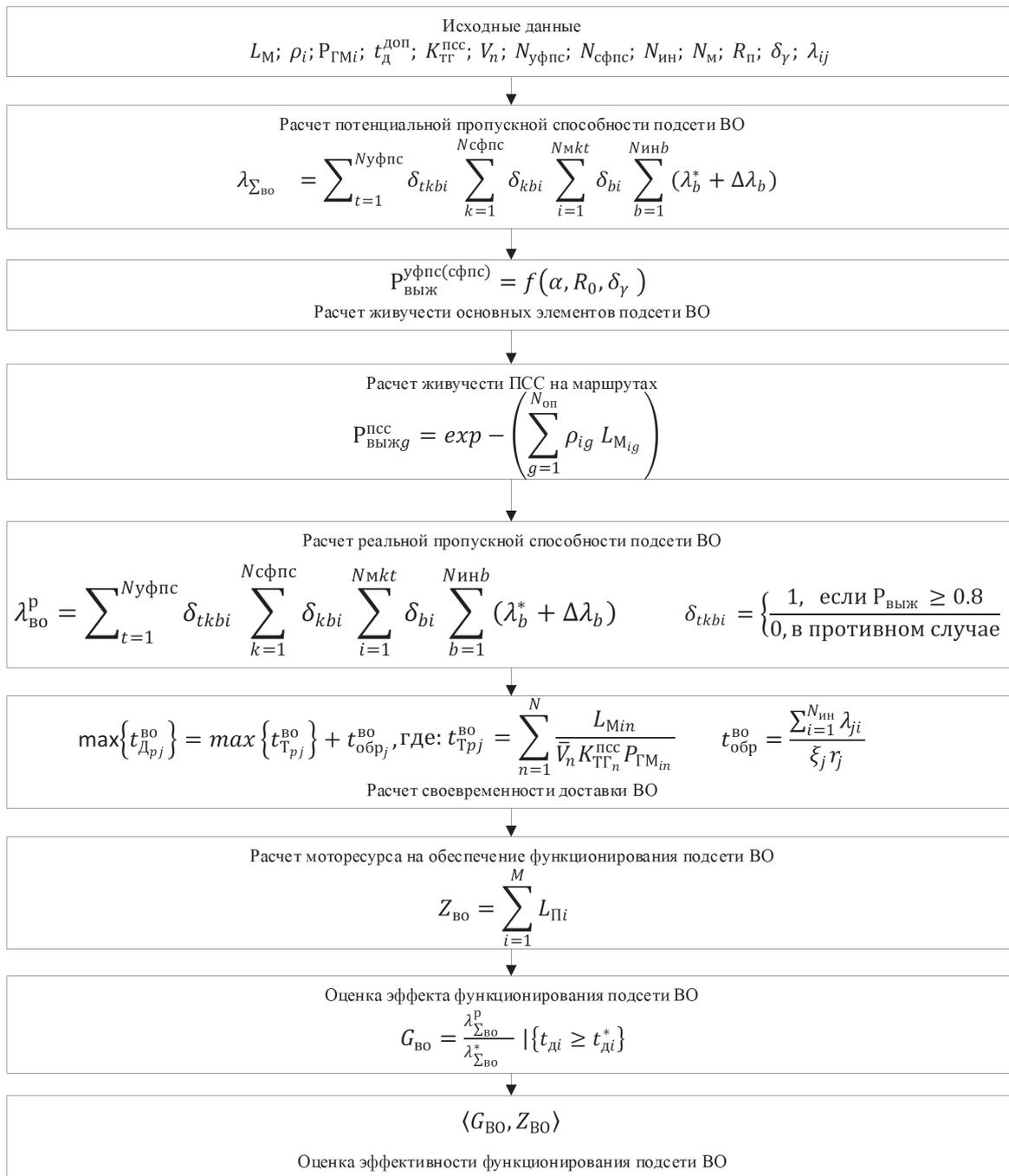


Рис. 4. Расчет эффективности подсети ВО

Время доставки отправок наиболее удаленному корреспонденту

$$\max\{t_{Дpj}^{\text{во}}\} = \max\{t_{Тpj}^{\text{во}}\} + t_{\text{обр}j}^{\text{во}} \quad (26)$$

Для общего случая время транспортировки

$$t_{Тpj}^{\text{во}} = \sum_{n=1}^N \frac{L_{Min}}{\bar{v}_n K_{ТГn}^{псс} P_{ГМin}}, \quad (27)$$

где:

N – количество разнотипных ПСС (наземных, авиационных, морских), последовательно задейство-

ванных в доставке j -го типа корреспонденции p -му адресату;

L_{Min} – протяженность маршрута, пройденного n -ым типом ПСС;

\bar{V}_n – средняя скорость движения n -го типа ПСС;

$K_{ГП}^{ПСС}$ – показатель технической готовности n -го типа ПСС;

$P_{ГMin}$ – вероятность готовности маршрута для n -го типа ПСС.

Время на обработку j -го типа отправлений зависит от его среднесуточного объема ($\lambda_{j\Sigma}$), производительность операторов (ξ_j) и количества операторов в рабочей смене (r_j):

$$t_{обp}^{BO} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ин}} \lambda_{ji}}{\xi_j r_j} \quad (28)$$

Для самого оперативного типа корреспонденции – секретных отправлений и газет – анализ выражений (27 и 28) приводит к выводу: чтобы выполнить условие (24), необходимо сократить время на обработку отправлений за счёт повышения производительности труда или числа операторов и планировать для удалённых адресатов наиболее мобильные и надежные средства доставки, вплоть до авиационных.

Для менее оперативных типов отправлений их обработка может осуществляться более длительное время, а доставка данной корреспонденции может осуществляться на следующие сутки. Однако и на обработку неоперативных типов отправлений также накладывается определенное ограничение. Оно связано с тем, что если за рабочие сутки не обработать всю поступившую на узел (станцию) ФПС корреспонденцию, то на следующие сутки возникнет двойное отставание в обработке, что вызовет нарастание в арифме-

тической прогрессии необработанной корреспонденции и, в конечном счете, сбой в работе всей сети ФПС. Следовательно:

$$t_{обp}^{BO} \leq 1 \text{ сутки} \quad (29)$$

Определив методики расчета основных показателей (рис. 4), однозначно отражающих цель функционирования подсети ВО, по аналогии с СО, в качестве показателя затраченных ресурсов на достижение эффекта – суммарный расход моторесурса для обеспечения доставки всех типов отправлений.

$$Z_{BO} = \sum_{i=1}^M L_{Pi}, \quad (30)$$

где: L_{Pi} – путь пройденный ПСС по i -му маршруту;

M – количество спланированных маршрутов в графике работы подвижных средств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная методика приемлема не только при исследовании функционирования существующей сети ФПС специального назначения, построенной с использованием традиционных способов организации фельдъегерско-почтовой связи, но и при планировании сети должностными лицами по ФПС на предстоящую операцию. При применении представленной методики должностные лица ФПС смогут качественно и оперативно распределять ресурсы сети ФПС при ее планировании перед операции, учитывая практически все неопределенности условий со стороны действия противника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Звягин Л.С. Системный анализ на новое направление исследования процессов управления // Журнал «Молодой ученый». – 2014. - № 3(62)
2. Гулый А.М. Методологическая роль системного подхода в управленческой деятельности военных кадров // Журнал «Вестник Санкт-Петербургского военного института войск национальной гвардии». – 2021. - № 2(15)
3. Билятдинов К.З. Правила составления и вычитания матриц значений по двум группам показателей для оценки качества больших технических систем // Журнал «International journal of open information technologies». – 2022.
4. Арифджанова Н.З. Оценка эффективности логистической деятельности // Журнал «Проблемы современной науки и образования». – 2022.
5. Филиппенко О.Г., Сузый А.Б., Прикня А.О. О перспективах развития и совершенствования ФПС в ВС РФ // Журнал «Военная мысль». – 2023.
6. Величко В. В. Модели и методы повышения живучести современных систем связи // Горячая линия – Телеком, 2016. – 270 с.
7. Еремин С. А. Методическая основа расчета устойчивости системы связи // Вестник связи. – 2016. – №12.
8. Иванов В. Г. Система показателей качества оценивания эффективности процесса функционирования системы связи группировки войск (сил) / Иванов В. Г., Астахов А.И., Сарафанников В.С., Кривцов С.П., Захарченко А.С. // Стратегическая стабильность. – 2020. № 3/92

9. Никоноров В.М. Системы, сущность и свойства // Журнал «Российское предпринимательство» – 2015.
10. Боговик А.В. Эффективность систем военной связи и методика ее оценки – СПб ВАС, 2006.
11. Кашина Е.В., Каширина В.М. Стоимость как интегрированный показатель эффективности // Вестник КрасГАУ – 2014.

METHODS FOR EFFICIENCY EVALUATION OF POSTAL AND COURIER COMMUNICATION SPECIAL-PURPOSE NETWORK

Muratkhanov D. D. ¹

Keywords: *postal and courier communication, subnet, postal and courier communication crew, route distance, mail extent, efficiency.*

Objective of the study. *The developing of methods for efficiency evaluation of postal and courier communication network.*

Research method. *The main research method is system analysis, as well as mathematical models of various classes.*

Result. *The article discusses methods for efficiency evaluation of postal and courier communication network with consideration to destructive impact of the enemy and the network realization. Due to this methods officers of postal and courier communication can estimate efficiency the structure of postal and courier communication network.*

The scientific novelty *of the study consists in developing a new methodology that will allow to reconsider the planning and organization process of postal and courier communication network.*

REFERENCES

1. Zvjagin L.S. Sistemnyj analiz na novoe napravlenie issledovaniya processov upravlenija // Zhurnal «Molodoj uchennyj». – 2014. - № 3(62)
2. Gulyj A.M. Metodologicheskaja rol' sistemnogo podhoda v upravlencheskoj dejatel'nosti voennyh kadrov // Zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo voennogo instituta vojsk nacional'noj gvardii». – 2021. - № 2(15)
3. Biljatdinov K.Z. Pravila sostavlenija i vychitanija matric znachenij po dvum gruppam pokazatelej dlja ocenki kachestva bol'shih tehniceskikh sistem // Zhurnal «International journal of open information technologies». – 2022.
4. Arifdzhanova N.Z. Ocenka jeffektivnosti logisticheskoy dejatel'nosti // Zhurnal «Promblemy sovremennoj nauki i obrazovanija». – 2022.
5. Filippenko O.G., Suzyj A.B., Priknja A.O. O perspektivah razvitija i sovershenstvovanija FPS v VS RF // Zhurnal «Voennaja mysl'». – 2023.
6. Velichko V. V. Modeli i metody povyshenija zhivuchesti sovremennyh sistem svjazi // Gorjachaja linija – Telekom, 2016. – 270 s.
7. Eremin S. A. Metodicheskaja osnova rascheta ustojchivosti sistemy svjazi // Vestnik svjazi. – 2016. – №12.
8. Ivanov V. G. Sistema pokazatelej kachestva ocenivaniya jeffektivnosti processa funkcionirovanija sistemy svjazi gruppirovki vojsk (sil) / Ivanov V. G., Astahov A.I., Sarafannikov V.S., Krivcov S.P., Zaharchenko A.S.// Strategicheskaja stabil'nost'. – 2020. № 3/92
9. Nikonorov V.M. Sistemy, sushhnost' i svojstva // Zhurnal «Rossijskoe predprinimatel'stvo» – 2015.
10. Bogovik A.V. Jefferktivnost' sistem voennoj svjazi i metodika ee ocenki – SPb VAS, 2006.
11. Kashina E.V., Kashirina V.M. Stoimost' kak integrirovannyj pokazatel' jefferktivnosti // Vestnik KrasGAU – 2014. ■

¹ Dmitry D. Muratkhanov, Head of the Courier and Postal Communications Department of the Central Office of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow

■ ПРАВИЛА ПОДАЧИ СТАТЕЙ ДЛЯ АВТОРОВ

УДК, например, 004.056 и рубрика (по номенклатуре ВАК) статьи (красным цветом)

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (– не более 10 слов)

Максимов П.В.¹, Панфилов П.Б.². Фамилия И.О. авторов через запятую

DOI: 10.24682/ заполняет редакция

Ключевые слова: через запятую 9-11 слов или словосочетаний, не совпадающих с терминами из названия статьи

Аннотация. Состоит из четырех явно выделенных абзацев (как здесь):

Цель работы (одно-два предложения) состоит в анализе и разработке.....

Метод исследования (три-четыре предложения),

Результаты исследования: что дало. Рекомендуется придерживаться ГОСТ 7.9-95, объем этого абзаца не менее 70 слов и не более 200.

Научная новизна (или Практическая ценность): содержит 1-2 предложения, описывающих научную новизну исследования.

В конце статьи приводится название, ключевые слова и аннотация на английском языке.

Текст статьи (15000 минимум без учета Литературы – до 40000 символов) должен быть структурирован и включать следующие подзаголовки: введение и постановка цели, решение поставленной задачи, результаты и/или выводы. Разделы могут именоваться и иначе, их может быть больше. Текст без структуризации недопустим. Текст в Word рекомендуется дублировать в формате pdf.

Название статьи, ключевые слова, аннотация должны быть переведены на качественный английский язык (статья с машинным переводом отклоняется сразу без рассмотрения. Лучше не переводить, чем машинный перевод).

Строго не рекомендуются к публикации статьи, в которых отсутствует формализованное решение задачи.

Рисунки и таблицы должны быть пронумерованы последовательно в порядке упоминания в тексте, ссылки на них приводятся в круглых скобках, например: (рис.1), (табл.1). Рисунки дополнительными файлами предоставляются в графических форматах tiff или jpg, png с разрешением 300 dpi для размера в публикации.

Раздел Литература нумеруется в порядке, упоминаемом в тексте (примеры ссылок по тексту: [1], [2, 5], [3, с. 123]). Рекомендуемое количество литературных источников: 10-25. Настоятельно рекомендуется ссылаться на журнальные статьи, представленные в eLibrary.ru или иных научных базах за последние 5 лет (Требование ВАК). Запрещается ссылаться на неиндексируемые литературные источники, как-то: стандарты и анонимные публикации, а также на ненаучные источники (например, Википедию, газеты). Литературный источник приводится строго по ГОСТ Р 7.0.5-2008 либо как он отображается в eLibrary.ru (или Scopus и WoS), или источники без авторства. Ссылки на источники старше 5 лет могут быть в постраничных сносках, но не в разделе Литература. В постраничных сносках нет никаких ограничений.

ВАК рассматривает раздел Литература как место дискуссии автора статьи с авторами источников. Какая дискуссия может быть с безымянным текстом или с ГОСТом, Постановлением органа власти, нормативным документом? Все ссылки на них в постраничные сноски.

Статьи направляются на почту editor@telemil.ru с заключением о возможности открытого опубликования. ■

¹ Максимов Петр Владимирович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационной безопасности Краснодарского высшего военного училища имени генерала С.М. Штеменко, г. Краснодар. E mail: monitorlaw@yandex.ru (точку после почты не ставить)

² Панфилов Петр Борисович, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры финансовой безопасности Московского государственного юридического университета имени О.Е. Кутафина, г. Москва, Россия. E mail: prb@mail.ru (точку после почты не ставить)

TELECOMMUNICATIONS AND THE CONNECTION

SCIENTIFIC PEER-REVIEWED JOURNAL

№1 (01) 2024

Published 6 times a year

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications, Registration Certificate PI № FS77-88069 от 16.08.2024

The journal accepts for publication articles on the specialties of the list of scientific specialties 6.0.0.

Editor-in-chief

Vasily IVANOV, *Ph.D., Ass. Professor, Moscow*

Chairman of the Editorial Council

Alexander RUBIS, *Ph.D., Moscow*

Chief Editor

Grigory MAKARENKO, *Senior Research Fellow, Moscow*

Editorial Council

Gennady RYZHOV, *Dr.Sc., Professor, Moscow*

Yuri STARODUBTSEV, *Dr.Sc., Professor, St. Petersburg*

Evgeny KHARCHENKO, *Ph.D., Professor, Moscow*

Editorial board

Mikhail BUINEVICH, *Dr.Sc., Professor, St. Petersburg*

Evgeny GLUSHANKOV, *Dr.Sc., Professor, St. Petersburg*

Sergey IVANOV, *Dr.Sc., St. Petersburg*

Alexander KOZACHOK, *Dr.Sc., Ass. Professor, Orel*

Sergey KOROBKA, *Dr.Sc., Moscow*

Andrey KOSTOGRYZOV, *Dr.Sc., Professor, Moscow*

Sergey MAKARENKO, *Dr.Sc., Ass. Professor, St. Petersburg*

Alexey MARKOV, *Dr.Sc., Ass. Professor, Moscow*

Anatoly RYZHKOV, *Dr.Sc., Professor, Moscow*

Nikolay SAVISHCHENKO, *Dr.Sc., Professor, St. Petersburg*

Igor SIVAKOV, *Dr.Sc., Moscow*

Vladimir TSIMBAL, *Dr.Sc., Professor, Serpukhov*

Oleg FINKO, *Dr.Sc., Professor, Krasnodar*

Founder and publisher

Federal State Budgetary Institution "16 Central Research and Testing Institute" of the Ministry of Defense of the Russian Federation

The following people worked on the issue:

G. Makarenko – *chief editor*, N. Selezenev – *executive secretary*, A. Safonov – *layout*, A. Starkov – *marketing and subscription*

Signed to the press on 09/19/2024.

The total circulation is 120 copies. The price is free

Postal address: 1st Rusakovskiy lane, 1, 141006, Mytishchi, Moscow region, Russia

E-mail: editor@telemil.ru Tel.: +7 (985) 939-75-01.

The requirements for the manuscripts are posted on the website: <https://telemil.ru/>

INTRODUCTION

<i>Ivanov V. G.</i>	2
<i>Rubis A. A.</i>	3
<i>Pankov R. N.</i>	4
<i>Berezovsky V. A.</i>	5

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN A SPECIAL PURPOSE COMMUNICATION SYSTEM

<i>Agafonov D. A., Pankov R. N., Savitsky A. Yu.</i>	7
--	---

IMPROVING THE STABILITY OF CONTROL AND COMMUNICATION OF MILITARY ROBOTIC SYSTEMS IN MODERN OPERATIONS

<i>Ivanov V. G., Lukyanchik V. N., Polyakov D. N.</i>	16
---	----

A TECHNICAL SOLUTION TO IMPROVE THE TIMELINESS OF INFORMATION EXCHANGE AND COMMUNICATION

<i>Brechko A. A., Filin A.V.</i>	30
--	----

ASSESSMENT OF THE CHARACTERISTICS OF CYBERSPACE BASED ON THE RESULTS OF TESTING NETWORKS FROM ITS COMPOSITION

<i>Zakalkin P. V.</i>	38
-----------------------------	----

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITY OF FUNCTIONING OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN COMPLEXES AND MEANS OF COMMUNICATION

<i>Dolmatov E. A., Yagovitov D. S.</i>	48
--	----

SYSTEM ASPECTS OF BUILDING TELECOMMUNICATION NETWORK IN MODERN ARMED CONFLICTS

<i>Lukyanchik V. N., Starkov A.M., Sarafannikov V. S.</i>	59
---	----

WORK METHODOLOGY OF COMMUNICATION OFFICIALS OF THE ASSOCIATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS IN PLANNING AND SETTING TASKS TO ENSURING COMMUNICATIONS USING DIGITAL TWIN TECHNOLOGY

<i>Savitsky A. Yu.</i>	68
------------------------------	----

BUILDING AN INFOTELECOMMUNICATION NETWORK BASED ON AEROPLATFORMS IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

<i>Karpov M. A., Lukyanchik V. N., Vasilyeva T. G.</i>	77
--	----

A DATA BASE SYNCHRONIZATION MODEL BASED ON INFORMATION RELEVANCE

<i>Udaltsov A.V.</i>	94
----------------------------	----

METHODS FOR EFFICIENCY EVALUATION OF POSTAL AND COURIER COMMUNICATION SPECIAL-PURPOSE NETWORK

<i>Muratkhanov D. D.</i>	101
--------------------------------	-----

RULES FOR SUBMITTING ARTICLES FOR AUTHORS113

Subscription to the magazine is carried out in 2024 through the editorial office of the magazine

