

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ и СВЯЗЬ

№3 (03) 2024

ТЕМА НОМЕРА:

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАКТИКИ
ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ
ВООРУЖЕННОГО ПРОТИВОБОСТВА

ИНФОРМАЦИОННАЯ ВОЙНА ЗАРУБЕЖНЫХ
ГОСУДАРСТВ С ЦЕЛЬЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА
СИСТЕМУ И ВОЙСКА СВЯЗИ РОССИИ

WWW.TELEMIL.RU

DOI: 10.24682/3034-4050



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]). Рекомендованное 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.tis@yandex.ru с заключением о возможности открытого опубликования.

¹Максимов 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)

²Панфилов 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)

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, д.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., доцент, 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 Ивнаович, 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 Олен Анатольевич, д.т.н., профессор, Краснодар

Учредитель и издатель

ФГБУ «16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт Министерства Обороны РФ»
(Военно-научный комитет Главного управления связи Вооружённых Сил Российской Федерации)

Над номером работали:

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

Подписано к печати 20.11.2024 г.

Общий тираж 120 экз. Цена свободная

Адрес: 141006, г. Мытищи Московской обл.,

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/>

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЗДРАВЛЕНИЕ

Сухотелый А.П......2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАКТИКИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ВООРУЖЕННОГО ПРОТИВОБОРСТВА

Тевс О.П., Пустошкин М.М......5

МЕТОД КООРДИНАТОМЕТРИИ ДВУХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ОСНОВАННЫЙ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ

Глебов Р.М., Севидов В.В......14

ИНФОРМАЦИОННАЯ ВОЙНА ЗАРУБЕЖНЫХ ГОСУДАРСТВ С ЦЕЛЬЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СИСТЕМУ И ВОЙСКА СВЯЗИ ВС РФ

Вавринюк С.А......20

МОДЕЛЬ РАДИОЛИНИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ С ПАРЦИАЛЬНЫМИ КАНАЛАМИ

Драгунов М.Ю......26

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ

Чихачев А.В., Будко П.А., Шмидт А.А......33

ПОВЫШЕНИЕ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ В ЕДИНОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Николаев В.В......41

СВОЕВРЕМЕННОЕ ДОВЕДЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДО ПОДВИЖНЫХ НОСИТЕЛЕЙ

Чернобровкин С.В......56

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТЕЙНЕРА E2 СИНХРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ИЕРАРХИИ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Чернобровкин С.В......64



Военные связисты, работники промышленности и научных организаций!

Развитие связи в ВС РФ обусловлено совместными целенаправленными усилиями военно-научного комплекса, промышленности и практики войск в создании и доведении до уровня требуемых самых современных образцов средств, комплексов связи и телекоммуникации.

Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Радиозавод им. А.С. Попова» является одним из ведущих разработчиков и производителей радиоэлектроники в Российской Федерации. Уникальные и компетенции в сфере разработки промышленного производства сложных систем связи и управления позволили осуществить поставки более миллиона единиц техники в 33 страны мира. Реальный срок эксплуатации изделий многократно превышает заявленный. Современное оборудование, высокая квалификация и профессионализм специалистов, постоянно улучшаемые бизнес-процессы позволяют предприятию выполнять разработку и реализацию проектов построения и модернизации специальных сетей связи с учетом функциональности, особенностей управления, структуры и технического оснащения существующей или проектируемой сети, создание стационарных и подвижных комплексов связи и обработки информации, а также унифицированных систем беспроводной связи различного назначения.

Вся продукция НПО «Радиозавод им. А.С. Попова» отвечает самым высоким требованиям качества, при этом сохраняя приоритеты на использование преимущественно отечественных комплектующих. Уровень локализации производства достигает 100%.

Неоспоримым фактом является постоянное участие НПО «Радиозавод им. А.С. Попова» в поставках радиорелейных станций военного назначения для гособоронзаказа в ВС РФ. За 70-летнюю свою историю предприятие «Омский радиозавод им. А.С. Попова» (в последствии АО «НПО «Радиозавод им. А.С. Попова»), непрерывно поставляло для ВС СССР, а в последующем для ВС РФ линейку радиорелейных станций начиная с Р-401 по Р-419. Создание и внедрение этих радиорелейных станций в войска связи осуществлялось при непосредственном участии сотрудников научно-исследовательского института связи Сухопутных войск, в последствии 16 ЦНИИИ Минобороны России.

При этом, радиорелейные станции Р-409 и Р-419 различных модификаций, предназначенные для применения в тактическом и оперативно-тактическом звеньях управления, являлись и остаются по настоящее время самыми массовыми радиорелейными станциями в ВС СССР и России. Данные станции исторически, на протяжении многих лет зарекомендовали себя высоконадежными, технологичными, с глубоким уровнем унификации и в тоже время высоко доступными в эксплуатации средствами связи.

В настоящее время с учетом развития в мире современных телекоммуникаций, средств автоматизации и внедрения искусственного интеллекта АО «НПО «Радиозавод им. А.С. Попова» не только наращивает свои производственные возможности по выпуску новых модифицированных изделий в рамках уже известной радиорелейной станции Р-419, но значительно расширяет перечень разработки в других областях связи и телекоммуникаций. Так, созданные при предприятии три научно-технических центра совместно с производственным комплексом реализуют разработку комплексных конструкторских решений, обеспечивающих сопряжение с ранее выпущенным парком изделий, а также предоставляют потребителю широкую линейку новых вариантов исполнения и модификации продукции, сервисное сопровождение на всех этапах жизненного цикла изделий — от разработки до утилизации.

Все это позволило расширить специализацию предприятия от разработки и производства радиорелейных станций до современных систем различного телекоммуникационного оборудования, систем подвижной радиосвязи, цифровых систем связи, средств оборудования спутниковой связи и беспроводного широкополосного доступа.

Особую роль в развитии линейки радиорелейных станций Р-419, выпускаемых предприятием отведена ее новой модификации цифровой радиорелейной станции (ЦРПС) Р-419МР. Данная станция предназначена для развертывания и строительства одно- и многоинтервальных линий радиорелейной

связи в многонаправленном или однонаправленном режиме. ЦРПС устанавливается на транспортную базу и стационарные объекты. Главными отличительными особенностями данной станции являются; работа в много-направленном режиме в четырех или шести направлениях связи со скоростью до 2048 кбит/с на дальностях до 30 км в условиях среднепересеченной местности; реализация помехоустойчивого и разведзащищенного режима работы с использованием широкополосных сигналов; обеспечение сетевого режима работы оборудования при емкости сегмента до 200 узлов с динамической маршрутизацией; организация связи в движении.



Рис.1 Радиорелейная станция Р-419МР

В настоящее время с учетом особенностей использования РРС в ходе СВО ведется работа по созданию перспективных ЦРПС Р-419Л1 вариантов исполнения 05 и 06 на бронезащитной базе (транспортная база типа ЗА-53949Ш «Тайфун» и БТР-82А (изделие 591042).



Рис.2 Цифровая радиорелейная станция Р-419Л1 на бронезащитной базе

Наряду с ЦРПС Р-419 предприятие разработало и поставляет другим силовым ведомствам ЦРПС двойного назначения следующих типов: Р-430МСЗ, «Восток-3», «Восток-5», «Восток-11».

Широкое развитие оборудования беспроводного широкополосного доступа (БШПД) в современных телекоммуникациях в полной мере коснулось и предприятия. В настоящее время АО «НПО «Радиозавод им. А.С. Попова» активно разрабатывает целую линейку технических решений для реализации конечных изделий, отвечающих потребностям коммерческого сектора, а также требованиям военного назначения.



Рис.3 Цифровая радиорелейная станция Р-430МСЗ

Инициативные НИОКР, проводимые на предприятии, позволили получить опытные образцы следующего оборудования беспроводного широкополосного доступа, различного диапазона и назначения, которые включают: малогабаритное оборудование развед- и помехозащищенного радиомоста, работающего в диапазоне 390–645 МГц сигналами ШПС с изменяемым в зависимости от помеховой обстановки коэффициентом расширения спектра сигнала; станцию БШПД обеспечивающую фиксированный радиодоступ топологии «точка–многоточка» и «точка–точка» в двух диапазонах частот — 2,4 и 5 ГГц; систему широкополосной беспроводной передачи с организацией работы на линиях связи по топологии «точка–точка» с шумоподобными сигналами.

В настоящее время на предприятии совместно с Главным управлением связи и 16 ЦНИИИ в рамках разработки и внедрения современных сетей с MESH-технологией, особо востребованных в ТЗУ, ведется разработка обо-

рудования БШПД, адаптированного именно под данные сети. Разработка направлена на создание комплектов БШПД для конкретных вариантов применения: наземного, переносимого и воздушного.

Предусматривается, что каждое из этих устройств, может бесшовно сопрягаться между собой в MESH-сети различного уровня иерархии, обеспечивать автоматическое вхождение новых абонентов, реализовывать самовосстановление сети, поддерживать непрерывный роуминг подвижных абонентов в сети с предоставлением широкополосных услуг связи надлежащего качества. Технические решения, заложенные в данные MESH-сети, предусматривает использование уникального механизма децентрализованных мобильных самоорганизующихся сетей.



Рис.4 Оборудование БШПД для MESH-сети

Широкий ассортимент разрабатываемых и выпускаемых изделий военного и двойного назначения, значительный опыт полученный в серийных поставках РРС на автомобильной базе позволили предприятию успешно реализовать разработку унифицированных телекоммуникационных узлов связи контейнерного исполнения.

Быстроразвертываемый телеком-муникационный комплекс (БТК) П-248 предназначен для обеспечения комплексными инфотелекоммуникационными услугами должностных лиц временных пунктов управления, пунктов управления в районах со слабо развитой структурой системы связи или в местах новой дислокации.

БТК П-248 обеспечивает развертывание открытого и закрытого сегментов инфотелекоммуникационной сети; организацию линий спутниковой, радиорелейной, проводной связи, широкополосного

беспроводного доступа, с представлением полного набора современных пользовательских услуг связи. Данный узел связи имеет современную систему управления связью, реализующую как обслуживаемый, так необслуживаемый вариант эксплуатации.

Перечисленный неполный перечень образцов телекоммуникации и связи, создаваемых АО «НПО «Радиозавод им. А.С. Попова» в интересах ВС РФ, других силовых ведомств, и поставляемый в войска, не был бы возможен без упорной совместной работы ученых, конструкторов, производственников предприятия, а также военно-научного сопровождения представителей 16 ЦНИИИ, опыта войсковой эксплуатации в воинских частях и подразделениях.

Дальнейшее укрепление этой работы должно поддерживаться высоким научно-техническим уровнем конструкторских решений, основанных на самых последних достижениях мировой и отечественной науки, инженерной мысли и реализовать прорывные технологии в практической реализации создаваемых образцов вооружения и военной техники ВС РФ.



Рис.5 Быстроразвертываемый телекоммуникационный комплекс П-248

Мы считаем, что продолжение совместного сотрудничества промышленности, 16 ЦНИИИ, других военно-научных учреждений на страницах нового научного журнала «Телекоммуникации и связь» будет несомненно полезно и продуктивно в интересах развития военной науки, ее практической реализации в интересах ВС РФ.

Желаю творческих успехов редакции нового журнала.

**Главный конструктор НТЦ-1 АО «НПО «Радиозавод им. А.С. Попова»
А.П. Сухотеплый**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАКТИКИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ВООРУЖЕННОГО ПРОТИВОБОРСТВА

Тевс О.П.¹, Пустошкин М.М.²

DOI:10.24682/3034-4050-2024-3-5-13

Ключевые слова: формы, способы и приемы действий, комплексная методика, боевое применение, система связи, система управления.

Аннотация

Цель работы: на основе анализа и обобщения исходных данных, разработать модель тактики подразделений связи, и обоснование тактической пригодности существующих и перспективных форм, способов и приемов действий подразделений связи.

Метод исследования сочетает в себе построение комплексных аналитических и имитационных моделей, способных учитывать факторы неопределенности и многоаспектность процессов на этапах боевого применения подразделений связи.

Результаты исследования позволят оценить тактическую пригодность способов построения системы связи и способов боевого применения подразделений связи в динамике боевых действий, противопоставляя их возможным способам воздействия противника. Также позволят сформулировать научно обоснованные требования к универсальной организационно-штатной структуре подразделений связи, тактико-техническим характеристикам комплексов и средств связи, которые способны реализовать систему связи с требуемыми параметрами. Результаты будут положены в основу предложений по разработке новых форм, способов и приемов действий подразделений связи.

Научная новизна: впервые разрабатывается модель тактики подразделений связи, позволяющая осуществить моделирование вероятностных ситуаций, возникающих в ходе боевого применения подразделений связи в условиях современного вооруженного противоборства с противником. Реализуется формализованный подход к выбору (разработке) форм, способов и приемов действий подразделений связи, позволяющий учесть степень их влияния на достижение основных целей соответствующего этапа боевого применения, и вклад в достижение общей цели с учетом складывающейся оперативной обстановки.

Введение

В современном мире, где информационные технологии и средства связи играют незаменимую роль в стратегии ведения военных действий, важность подразделений связи становится очевидной. Эти подразделения являются критически важным звеном, обеспечивающим не только передачу информации, но и оперативное реагирование как на изменения, происходящие на поле боя, так и в системе управления.

Современные вооруженные конфликты характеризуются быстротой принятия решений и необходимостью мгновенного обмена информацией. Тактика подразделений связи должна быть адаптирована к этим условиям.

Моделирование тактики подразделений связи в условиях современного вооруженного противоборства является комплексной и много-

гранной задачей, требующей всестороннего анализа и глубокого понимания специфики современных военных конфликтов.

Современное вооруженное противоборство характеризуется рядом уникальных вызовов и угроз, среди которых:

- ❖ высокая мобильность и динамичность боевых действий, требующие от подразделений связи оперативности и адаптивности в развертывании и перестроении системы связи;
- ❖ использование высоко наукоёмких технологий, включая кибернетические атаки, которые могут подрывать работу системы связи;
- ❖ адаптация противника к изменяющимся условиям ведения войны, что требует постоянного обновления тактики и методов работы.

¹Тевс Олег Павлович, кандидат военных наук, доцент, начальник кафедры боевого применения войск связи Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: tevsolog@rambler.ru

²Пустошкин Максим Михайлович, адъюнкт кафедры боевого применения войск связи Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: max.pustoshkin@yandex.ru

Эти факторы ставят перед подразделениями связи задачи, требующие гибкости, способности к быстрой адаптации и эффективной работы в условиях ограниченного времени и ресурсов. Решение сложных задач определяется выбором соответствующих форм, способов и приемов действий подразделений связи, которые выражают в совокупности тактику подразделений связи.

Современные боевые действия предъявляют высокие требования к тактике подразделений связи. Постоянно меняющаяся оперативная обстановка и высокая степень угрозы требуют эффективного и гибкого подхода к управлению системами и средствами связи.

Опыт проведения специальной военной операции (СВО) изменил взгляды на порядок ведения военных действий, бывшие прежде эпизодическими действия по нарушению управления войсками противника превратились в специальные операции, ставшие неотъемлемым компонентом общевойсковых операций. В этих целях разрабатываются и совершенствуются необходимые средства разведки и поражения, а также тактика их применения. В таких условиях комплексному воздействию противника на войска и систему связи должна быть противопоставлена тактика подразделений связи, обеспечивающая своевременное и полное выполнение стоящих перед ними задач с минимальными потерями в технике и живой силе.

Соответствующая реалиям боя тактика войск связи обеспечивает эффективность применения подразделений и средств связи, позволяет сократить потери сил и средств связи и как следствие повысить функционирование системы связи. В итоге при прочих равных условиях повышаются устойчивость, непрерывность, оперативность и скрытность управления войсками в условиях деструктивного воздействия противника [1,7].

Постановка задачи

Опыт проведения СВО показал необходимость изменения в теории тактики подразделений связи, при этом особое внимание требуется уделять научному обоснованию форм и способов применения подразделений связи в вооруженных конфликтах, поиску путей повышения их мобильности, разработке оптимальных организационно-штатных структур, вопросам эффективного управления и всестороннего обеспечения в ходе боевых действий.

Формы и способы построения системы связи и применения войск связи в ходе СВО определяются характерными чертами современных вооруженных конфликтов, к основным из них относятся:

- применение группировок войск (сил) в штате мирного времени;

- оказание явной и скрытой военно-технической помощи противоборствующим сторонам развитыми в военно-техническом отношении государствами, объединенными в военно-политические союзы;
- очаговый характер ведения боевых действий общевойсковыми формированиями на разобщенных направлениях;
- относительно статичное положение оперативных группировок войск и высокая мобильность тактических групп;
- отсутствие элементов оперативного оборудования районов ведения боевых действий, значительное удаление баз материально-технического обеспечения действий группировок войск (сил);
- преимущественное ведение боевых действий в населенных пунктах либо в районе крупных объектов инфраструктуры;
- широкое распространение маневренных и диверсионных действий;
- угроза возникновения аварий и экологических катастроф на крупных промышленных объектах, находящихся в зоне вооруженного столкновения;
- стремление противоборствующих сторон решать оперативные и тактические задачи дальним огневым поражением, в основном ракетными и артиллерийскими системами;
- широкое применение всеми сторонами технологически сложных комплексов вооружения, в первую очередь БПЛА, БЭК и т. п.;
- существенное влияние на успех вооруженной борьбы ведения радиоэлектронной борьбы и противоборства в киберпространстве;
- создание и широкое применение тактических разведывательно-ударных систем (например, связка квадрокоптер и миномет);
- поражение объектов системы управления высокоточным оружием [1,10].

Тактика войск связи отражает те формы, способы и приемы действий, которые присущи только подразделениям связи. Она учитывает организационно-штатную структуру, целевое назначение и боевые возможности подразделений связи, особенности и тактико-технические характеристики средств связи, находящихся у них на снабжении, оперативные условия боевых действий, применяемую противником тактику комплексного воздействия, а также влияние физико-географических условий на способность выполнять боевые задачи. По своему содержанию тактика войск связи представляет собой взаимоувязанную совокупность теории и практики подготовки, боевого приме-

ния и всестороннего обеспечения войск связи в операции (бою) (рис.1).

Тактика подразделений связи, являясь частью тактики специальных войск, увязана прежде всего с тактикой того вида ВС, рода войск или специальных войск, в состав которых они организационно включены. Это определяется тем, что войска связи в ходе операции (бою) действу-

ют совместно с войсками других родов войск и специальных войск объединения (соединения). Следовательно, общая тактика (тактика вида и рода войск и специальных войск) является общей категорией для всех воинских формирований, входящих в рассматриваемое объединение (соединение) и оказывает, в частности, на тактику войск связи определяющее влияние.



Рис.1. Структура тактики подразделений связи

Тактика подразделений связи является общим, связывающим звеном в деятельности должностных лиц отдела связи и частей (подразделений) связи. Не зная основных приемов и способов боевого применения и возможностей подчиненных подразделений связи по их реализации, должностные лица органа управления связью не в состоянии спланировать дееспособную систему связи. Кроме того, должностные лица органа управления связью в ходе операции (бою) должны быть в курсе не только обстановки по связи, но и оперативно-тактической (тактической) обстановки, уметь прогнозировать ее развитие и своевременно корректировать применяемую тактику. Для решения этих задач требуется научно-методический аппарат, позволяющий осуществлять моделирование вероятных ситуаций и производить оценку тактической пригодности различных форм, способов и приемов действий подразделений связи [2,9].

Решение задачи

Моделирование тактики подразделений связи становится крайне актуальным в условиях высоких темпов изменений, связанных с развитием технологий, и является одним из эффективных инструментов поддержки выработки замысла и принятия решения на боевые действия, которые

нередко выполняются в условиях ограничений на располагаемое время и требуют рациональной организации самого процесса. В этих условиях соблюдение баланса времени часто обеспечивают за счет уменьшения количества моделируемых сценариев боевых действий (рассматриваемых вариантов замысла), заменяя математическое моделирование интуитивными оценками сравнительной эффективности различных вариантов замысла. Однако интуитивный подход к оценке сложных процессов порой может приводить к значительным ошибкам, которые приводят к потерям в технике и живой силе [3].

Цель моделирования заключается в разработке на основе анализа и обобщения исходных данных комплексной методики формирования тактики подразделений связи, а также в обосновании тактической пригодности существующих и перспективных форм, способов и приемов действий подразделений связи.

В основу разработки модели тактики подразделений связи положен подход, суть которого заключается в использовании метода, сочетающего в себе построение комплексных аналитических и имитационных моделей, способных учитывать факторы неопределенности и многоаспектность процессов на этапах боевого применения и методик расчета и оценки численных значений необхо-

димых показателей. Выбор этого подхода вызван присутствием системной, структурной и функциональной сложности предмета исследования.

Модель тактики подразделений связи (рис.2) базируется на принципах системного подхода, что обеспечивает взаимосвязь входящих в ее состав математических моделей и блока единых исходных данных. Модель включает в себя четыре основных раздела:

1. Формирование исходных данных и внешних

факторов, определяющих особенности организации связи в предстоящей операции (боевых действиях).

2. Разработка форм и способов боевого применения подразделений связи на этапах операции (боевых действий).

3. Моделирование форм и способов воздействия противника на систему связи.

4. Моделирование тактики подразделений связи в операции (боевых действиях).

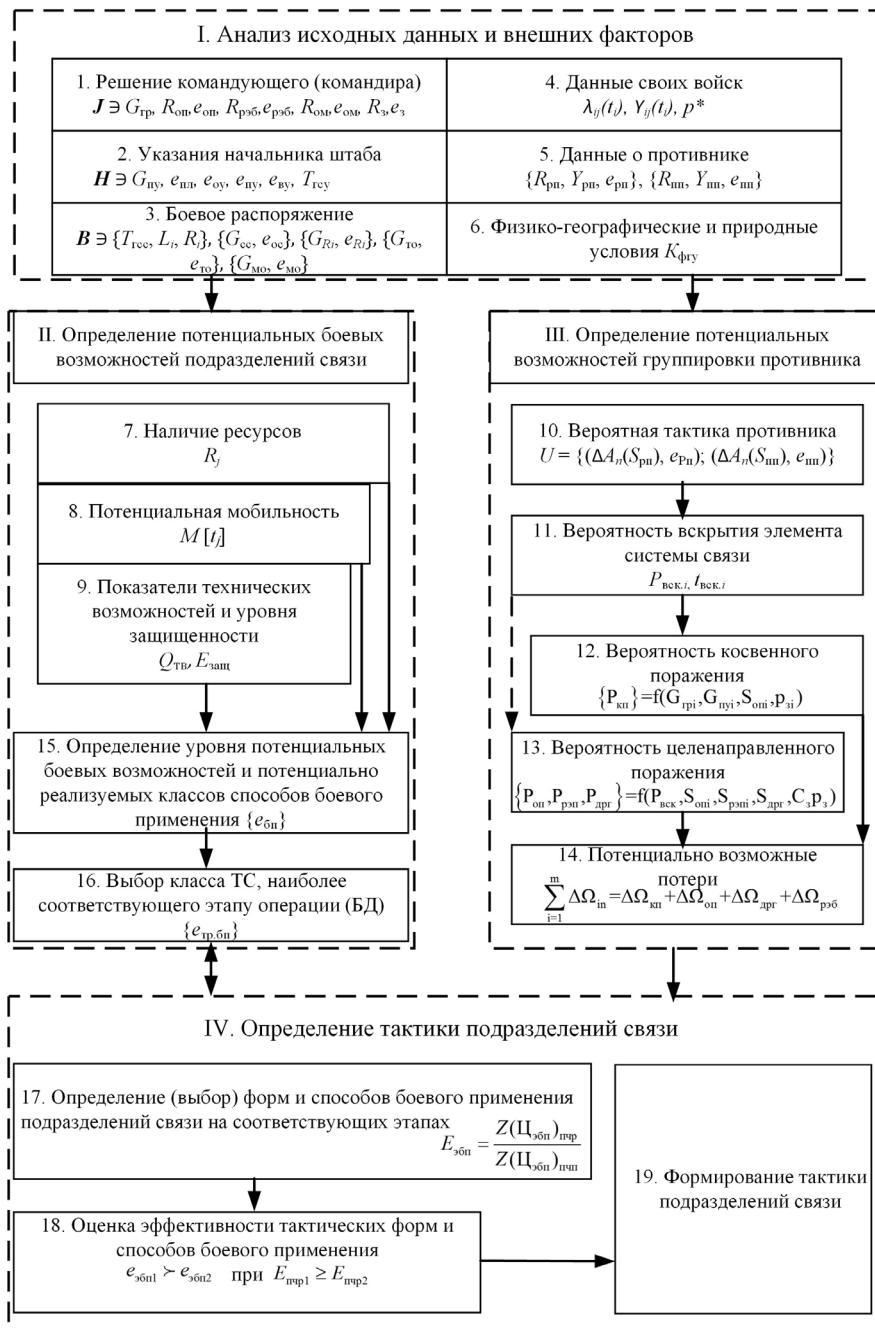


Рис.2. Модель тактики подразделений связи

На первом этапе моделирования производится анализ исходных данных и внешних факторов, оказывающих влияние на боевое применение подразделений связи в предстоящей операции. Их основными источниками будут служить:

1. Решение командующего (командира) на операцию (боевые действия) (блок 1.). Из его содержания определяется структура создаваемой группировки ($G_{гр}$), способы огневого поражения противника ($e_{он}$), способы применения средств РЭБ ($e_{рэб}$), способы оперативной (тактической) маскировки ($e_{ом}$), способы защиты войск от воздействия противника ($e_з$), ресурс средств огневого поражения и РЭБ ($R_{он}$, $R_{рэб}$), оперативной маскировки ($R_{ом}$) и защиты ($R_з$), выделенный общевойсковым командованием в интересах повышения живучести системы управления и связи.
2. Указания начальника штаба по организации управления в предстоящей операции (боевых действиях) (блок 2). Из их содержания определяется структура подсистемы пунктов управления создаваемой группировки ($G_{пу}$), каким способом будет осуществляться планирование ($e_{пл}$), способы обеспечения устойчивого, непрерывного оперативного и скрытого управления войсками создаваемой группировки ($e_{ов}$), способы передачи управления при перемещении пунктов управления и при выходе их из строя ($e_{пу}$), способы восстановления потерянного управления ($e_{вы}$), способы организации взаимодействия ($e_{овз}$), время готовности системы управления к началу функционирования ($T_{гсу}$).
3. Боевое распоряжение старшего штаба (блок 3). Из его содержания получим следующие данные: время готовности системы связи ($T_{гсс}$), топологические параметры (L_i) и структуру системы связи вышестоящего штаба ($G_{сс}$), количественный и качественный состав ресурсов всех видов, выделяемых в интересах рассматриваемой группировки (R_i), их структуру размещения (G_{Ri}) и способы применения (e_{Ri}), структуру подсистемы технического обеспечения ($G_{то}$), способы ее функционирования ($e_{то}$), структуру подсистемы материального обеспечения ($G_{мо}$), способы организации снабжения ($e_{мо}$), способы организации связи с вышестоящим штабом и взаимодействующими группировками ($e_{сс}$).
4. Требования нормативных документов по связи, статистические данные, полученные в ходе выполнения задач, результаты проведения исследований в данной области военной науки (блок 4). Определяют требуемую интенсивность по-

токов сообщений всех видов на соответствующих информационных направлениях $\|\lambda_{ij}\|$, требуемый уровень исполненной нагрузки — $\|Y_{ij}\|$, требуемое качество связи — p^* на информационных направлениях.

5. Сведения о противнике, полученные в результате проведения разведывательных мероприятий (блок 5). К ним относятся: общий ресурс средств разведки и РЭП ($R_{рн}$), общий ресурс средств поражения ($R_{пн}$), характеристики комплексов разведки, РЭП и средств поражения ($Y_{рн}$, $Y_{пн}$), способы их применения ($e_{рн}$, $e_{пн}$).
6. Физико-географические и природные условия (блок 6). Данный раздел сведений представлен коэффициентами ($K_{фгп}$), применяемыми при расчете нормативного времени реализации различных тактических способов в реальных природных и географических условиях, характерных для региона, в котором проводится операция и учитывающим время года, время суток, рельеф местности, растительный покров, почвогрунты и т. п.

На втором этапе моделирования, осуществляется определение численных значений показателей боевых потенциальных возможностей подразделений связи:

- определение количества аппаратных, личного состава, запасов материальных средств в подразделениях связи (R_j) (блок 7);
- потенциальной мобильности аппаратных подразделений связи $M [t_i]$ (блок 8);
- технических возможностей аппаратных подразделений связи ($Q_{тр}$) и их уровня защищенности с учетом выделенных средств активной и пассивной защиты, поражения и маскировки ($E_{защ}$) (блок 9).

В результате производится оценка степени соответствия имеющегося комплекта подразделений связи объему предстоящих задач, уровня их боевых потенциальных возможностей и осуществляется определение множества (класса) потенциально реализуемых способов боевого применения подразделений связи $\{e_{бп}\}$ (блок 15). В заключении определяется класс способов боевого применения, наиболее соответствующего условиям предстоящей операции $\{e_{тр.бп}\}$ (блок 16).

В случае несоответствия уровня потенциальных боевых возможностей объему предстоящих задач, производится расчет требуемого ресурса и направляется запрос на его поставку.

Определение (выбор) конкретных способов боевого применения в рамках требуемого класса (блок 17) производится в соответствии с методиками формирования способов совершения

марша и оценки их эффективности, и формирования и оценки эффективности способов боевого применения подразделений связи на этапах развертывания (свертывания) и функционирования системы связи [4].

Далее производится оценка тактической пригодности разработанного способа боевого применения (блок 18) путем моделирования прогнозируемых условий боевого применения (блок 19).

Совокупность тактически пригодных способов будут составлять стратегии на соответствующих этапах боевого применения, противопоставляемые стратегиям воздействия противника.

На третьем этапе производится расчет потенциальных возможностей противника по вскрытию и комплексному воздействию на системы управления и связи. Расчеты осуществляются на основании имеющихся данных о количественном и типовом составе группировки противника, вероятном замысле на предстоящую операцию, принятых оперативных тактических нормативах и его представлениях о формах и способах ведения разведки и нанесения поражения системе управления.

В соответствии с проведенным анализом опыта специальной военной операции основным средством воздействия является нанесение высокоточных артиллерийских и ракетных ударов, в том числе применение БПЛА самолетного и квадрокоптерного типа, радиоэлектронные удары и действия ДРГ. Следует учитывать, что элементы системы связи будут подвергаться как прямому, так и косвенному поражению, которое характерно при нанесении ударов по объектам с сильнодействующими ядовитыми веществами, ядерным объектам, позиционным районам ракетных войск, разрушении плотин, в зонах сплошных пожаров и т. д. [5,8].

В расчетно-аналитическую часть рассматриваемой модели помимо уже имеющихся данных о противнике, включены следующие компоненты:

1. Уровень осведомленности противника о топологии системы связи и характеристиках ее элементов. Он выражен показателем вероятности вскрытия объектов системы связи ($P_{вск.i}$) за определенное время $t_{вск.i}$.
2. Тактика комплексного воздействия противника. Она складывается из тактики ведения разведки и тактики нанесения поражения. Тактика ведения разведки определяется вероятным распределением ресурса разведки по дням (этапам) операции — $\Delta A_n(S_{пп})$ и применяемыми формами и способами ведения разведки — $\{e_{пп}\}$. Тактика нанесения поражения опре-

деляется вероятным распределением ресурса сил и средств поражения по дням (этапам) операции — $\Delta A_n(S_{пп})$, применяемыми формами и способами, а также вероятной интенсивностью нанесения поражения — $\{e_{пп}\}$.

Для каждого этапа операции определяется его длительность (в соответствии с решаемой задачей) и ресурс сил и средств разведки и поражения. Удаление средств поражения противника указывается от линии соприкосновения войск.

В модели отражен полный перечень характеристик структуры и поведения элементов системы связи, которые может получить противник в результате проведения разведывательных действий ($e_{пп}$) и объективно существующего множества демаскирующих признаков $x_{пj}$ j -го элемента системы связи. Для обеспечения требуемой степени адекватности, в модель вносятся следующие сведения о войсках и элементах системы связи:

- наименование (условный номер) элемента системы связи (подразделения связи).
- его тип (полевой, стационарный, защищенный и т. д.);
- каким типом цели представляется противнику (подвижной, неподвижной, точечной, линейной, площадной);
- его относительные координаты и удаление от линии соприкосновения;
- разведывательная доступность элемента системы связи (подразделения связи), виды разведки и типы средств разведки, которым он доступен;
- характеристики демаскирующих признаков элементов системы связи.

Распределение средств поражения осуществляется исходя из потенциальной возможности вскрытия объекта за время его функционирования, его важности с точки зрения противника, характеристик средств поражения, пространственных показателей и т. д. Суть решения задачи на данном этапе заключается в распределении средств поражения по элементам системы связи (подразделениям связи, выполняющим поставленные перед ними задачи). Критерием выбора цели (объекта) для комплексного воздействия является функционал:

$$Ц_i = \max f(V_i, P_{вск.i}),$$

где V_i — коэффициент важности (вес) i -го объекта системы связи по взглядам противника;

$P_{вск.i}$ — вероятность вскрытия i -го объекта системы связи.

"Вес" объекта будет определяться составом и типом средств связи, размещенных на данном

элемента, которые будут своими демаскирующими признаками выдавать противнику его иерархическую и функциональную принадлежность.

В модели принято допущение, что если объект системы связи доступен разведке противника и функционирует на протяжении времени, превышающего время его вскрытия, то $P_{вск.i} = 1$, а если меньше, то $P_{вск.i} = 0$. Для всех стационарных объектов $P_{вск.i} = 1$, при $t_{вск.я} = 0$.

В модели заложена возможность проведения расчетов степени снижения вероятности вскрытия объектов системы связи в результате применения различных способов защиты.

При применении указанных способов защиты на элементах системы связи производится корректировка рассчитанного значения $P_{вск.i}$ в соответствии с их вкладом по выражению:

$$P_{вск.i} = P_{вск.i} \times \prod_{j=1}^N E_{защj},$$

где $E_{защj}$ — коэффициент, учитывающий влияние j -го способа защиты, N — общее количество используемых способов защиты.

В модели реализована возможность расчета снижения потенциала противника — производится расчет вероятного снижения ресурса средств поражения противника по дням (этапам) операции (боевых действий) при применении определенных средств и способов поражения активной и пассивной защиты, а также расчета показателей ресурса восполнения потерь сил и средств связи по этапам операции (боевых действий) (ΔR).

На основании полученных данных, оценивается объективная живучесть элементов системы связи и безопасность действий войск при реализации различных тактических форм и способов.

Заключение

Разработанная модель тактики подразделений связи позволяет исследовать разработанные формы и способы боевого применения подразделений связи в динамике противоборства с противником в ходе операции (боя). Так, в результате боевого применения подразделений связи j -м способом начнут проявляться демаскирующие признаки x_{ij} элементов системы связи (подразделений, выполняющих определенные задачи). Противник, используя силы и средства разведки, получит параметры элементов системы связи $x_{вскij}$ и проведет их идентификацию $\{P_{вск.i}\}$, осуществит ранжирование элементов системы связи (ЭСС)

по убыванию коэффициента важности $\|M_{ц}\|$, примет решение на поражение их определенной части каким либо способом $S_{цн1}$. Средства поражения (СП) в модели выделяются в зависимости от их досягаемости соответствующих ЭСС. Для воздействия на стационарные объекты системы связи в модели заложено правило выделять крылатые ракеты, управляемые авиабомбы и БПЛА самолетного типа.

В модели предусмотрено, что выделение наряда СП против конкретного элемента системы связи производится с расчетом их гарантированного поражения, то есть ущерб огневого воздействия составляет не менее 80%.

В результате применяемого воздействия нашей системы связи (подразделениям) будет нанесен определенный ущерб $\Delta \sum \Omega$.

Для оценки результатов деятельности противника используется система параметров его разведывательных комплексов и средств поражения ($x_{вск.s_{пр}}, x_{вск.s_{пм}}$), проводится их идентификацию и определяются способы воздействия ($e_{п}$) на них по методике аналогичной методике формирования тактики воздействия противника. Дополнительно необходимо осуществить определение показателей эффективности ПВО ($p_{пво}$) и применяемых способов «активной» и «пассивной» защиты системы связи. К этим способам относятся:

- использование в системе связи ложных объектов и проведение различных дезинформационных мероприятий — $e_{дез}$;
- уничтожение сил и средств разведки и РЭБ противника, средств огневого поражения и ДРГ — $e_{ун}$;
- создание преднамеренных помех разведывательным комплексам и средствам РЭБ — $e_{пм}$.

Таким образом динамично проигрываются вероятные ситуации развития тактической обстановки на всех этапах боевого применения подразделений связи.

Модель тактики подразделений связи позволяет оценить тактическую пригодность способов построения системы связи и способов боевого применения подразделений связи в динамике боевых действий, противопоставляя их возможным способам воздействия противника. Это обеспечивается возможностью в режиме диалога вводить:

- перемещение объектов;
- изменение линии соприкосновения войск;
- изменения структуры системы связи в ходе каждого этапа операции (боя);
- изменения в структуре резерва системы связи;
- различную степень интенсивности восполнения ресурса системы связи;

- изменения в системе «видимых» противником параметров структуры и функционирования системы связи при применении различных тактических способов и в сочетании их со способами активной и пассивной защиты;
- параметры комплексного воздействия противника различными способами и динамику их изменения в режиме реального времени при смене тактики или при использовании способов активной и пассивной защиты системы связи.

В качестве результатов использования модели появляется возможность:

- разработать тактику подразделений связи на всех этапах операции (боевых действий);
- выявить потенциальную тактику воздействия противника и определить наиболее опасные способы;
- рассчитать характеристики реальных боевых возможностей подразделений и системы связи;
- определить обоснованность применения различных классов тактических способов;
- определить необходимость применения тех, или иных способов активной или пассивной защиты элементов системы связи.

Полученные результаты позволят сформулировать научно обоснованные требования к универсальной организационно-штатной структуре подразделений связи, тактико-техническим характеристикам комплексов и средств связи, которые способны реализовать систему связи с требуе-

мыми параметрами. Указанные требования будут положены в основу предложений по разработке новых форм, способов и приемов действий подразделений связи.

Оценку выдвинутых предложений следует проводить путем сравнения численных значений основных показателей боевых потенциальных возможностей подразделений связи существующих и предлагаемых организационно-штатных структур, а также их боевых реальных возможностей при использовании существующих и разработанных форм, способов и приемов действий подразделений связи в современных военных конфликтах.

Моделирование тактики подразделений связи в условиях современного вооруженного противоборства представляет собой сложный и многогранный процесс, требующий учёта множества факторов. Эффективная организация связи, способность к быстрой адаптации и использование современных технологий являются ключевыми элементами для успешного выполнения задач в условиях современных боевых действий. В условиях быстроменяющейся обстановки, наличие чёткой и надёжной системы связи может стать решающим фактором, определяющим исход сражения.

С развитием технологий, таких как 5G, искусственный интеллект и беспилотные системы, открываются новые горизонты для совершенствования работы подразделений связи. Важно учитывать эти инновации при моделировании тактики, чтобы оставаться конкурентоспособными и готовыми к вызовам современного поля боя.

Литература

1. Воробьев И.Г., Романов В.М. Развитие форм и способов построения системы связи тактического звена управления // Военная Мысль. 2022. № 6. С. 61—70.
2. Иванов В.Г., Баширов С.Ю., Лукьянчик В.Н. Обоснования понятия «тактика войск связи», ее структуры, содержания и направления развития с учетом опыта специальной военной операции // Военно-теоретический журнал: Военная мысль № 2. – М.: МО РФ, 2024. С. 31.
3. Корепанов В.О., Шумов В.В. Моделирование военных, боевых и специальных действий // Военно-теоретический журнал: Военная мысль № 1. – М.: МО РФ, 2023. С. 28.
4. Иванов В.Г. Модель технической основы системы управления специального назначения в едином информационном пространстве на основе конвергентной инфраструктуры системы связи: монография. СПбГУ. СПб., 2018. 214 с.
5. Тевс О.П., Исаченко В.Г. Особенности и выводы организации и обеспечения связи при проведении специальной военной операции // Итоги науки и техники: научно-технический сборник № 120. Труды академии. – СПб.: ВАС, 2022. С. 64–70.
6. 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.
7. Пустошкин М.М., Степынин Д.В., Филимоненков М.Х., Васильева Т.Г., Ульянов В.В. Направления развития вооруженной борьбы, влияющие на тактику войск связи // Научно-практический междисциплинарный журнал: «Стратегическая стабильность» №4 (109). – 2024, стр. 7–40.
8. Пустошкин М.М. Способы и приемы действий соединений, воинских частей и подразделений связи общевойсковой объединения в условиях современного вооруженного противоборства // Итоги науки и техники: научно-технический сборник № 124. Труды академии. – СПб.: ВАС, 2023. С. 503–508.
9. Пустошкин М.М., Анализ тактики применения соединений (воинских частей, подразделений) связи в условиях современного вооруженного противоборства // Сборник научных трудов III международной научно-практической конференции: Карбышевское чтение «Наше дело правое – победа будет за нами», т. 6 – Тюмень.: ТВВИКУ, 2024. стр. 62-67.
10. Пустошкин М.М., Ульянов В.В., Шамсутдинова Е.Ю. Основные направления совершенствования тактики соединений, частей и подразделений связи в условиях современного вооруженного противоборства // Сборник научных трудов научной конференции «Повышение обороноспособности государства 2024» - Военный учебный центр СПбГУ. – СПб.: 2024. стр. 13–17.

MODELING OF TACTICS OF COMMUNICATION UNITS IN THE CONDITIONS OF MODERN ARMED CONFRONTATION

Tevs O. P.¹, Pustoshkin M. M.²

Keywords: forms, methods and techniques of action, complex methodology, combat use, communication system, control system.

Abstract

The purpose of the work: on the basis of the analysis and generalization of the initial data, to develop a model of tactics of communication units, and to substantiate the tactical suitability of existing and future forms, methods and techniques of actions of communication units.

The research method combines the construction of complex analytical and simulation models capable of taking into account the factors of uncertainty and multifaceted processes at the stages of combat use of communication units.

The results of the study will make it possible to assess the tactical suitability of the methods of building a communication system and the methods of combat use of communication units in the dynamics of combat operations, contrasting them with the possible methods of the enemy's influence. It will also make it possible to formulate scientifically based requirements for the universal organizational and staff structure of communication units, tactical and technical characteristics of complexes and means of communication that are capable of implementing a communication system with the required parameters. The results will form the basis of proposals for the development of new forms, methods and methods of action of communication units.

Scientific novelty: for the first time, a model of tactics of communication units is developed, which makes it possible to simulate probabilistic situations that arise in the course of combat use of communication units in the conditions of modern armed confrontation with the enemy. A formalized approach to the selection (development) of forms, methods and techniques of actions of signal units is implemented, which allows taking into account the degree of their influence on the achievement of the main goals of the corresponding stage of combat and contribute to the achievement of the overall objective in the light of the evolving operational environment.

References

1. Vorob'ev I.G., Romanov V.M. Razvitie form i sposobov postroenija sistemy svjazi takticheskogo zvena upravlenija // Voennaja Mysl'. 2022. № 6. S. 61—70.
2. Ivanov V.G., Bashirov S.Ju., Luk'janchik V.N. Obosnovanija ponjatija «taktika vojsk svjazi», ee struktury, sodержanija i napravlenija razvitija s uchetom opyta special'noj voennoj operacii // Voенно-teoreticheskij zhurnal: Voennaja mysl' № 2. – M.: MO RF, 2024. S. 31.
3. Korepanov V.O., Shumov V.V. Modelirovanie voennyh, boevyh i special'nyh dejstvij // Voенно-teoreticheskij zhurnal: Voennaja mysl' № 1. – M.: MO RF, 2023. S. 28.
4. Ivanov V.G. Model' tehnicheckoj osnovy sistemy upravlenija special'nogo naznachenija v edinom informacionnom prostranstve na osnove konvergentnoj infrastruktury sistemy svjazi: monografija. SPbPU. SPb., 2018. 214 s.
5. Tevs O.P., Isachenko V.G. Osobennosti i vyvody organizacii i obespechenija svjazi pri provedenii special'noj voennoj operacii // Itogi nauki i tehniki: nauchno-tehnicheckij sbornik № 120. Trudy akademii. – SPb.: VAS, 2022. S. 64–70.
6. 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.
7. Pustoshkin M.M., Stepynin D.V., Filimonenkov M.H., Vasil'eva T.G., Ul'janov V.V. Napravlenija razvitija vooruzhennoj bor'by, vlijajushhie na taktiku vojsk svjazi // Nauchno-prakticheskij mezhdisciplinarnyj zhurnal: «Strategicheskaja stabil'nost'» №4 (109). – 2024, str. 7–40.
8. Pustoshkin M.M. Sposoby i priemy dejstvij soedinenij, vojskih chastej i podrazdelenij svjazi obshhevojskovogo ob#edinenija v uslovijah sovremennogo vooruzhennogo protivoborstva // Itogi nauki i tehniki: nauchno-tehnicheckij sbornik № 124. Trudy akademii. – SPb.: VAS, 2023. S. 503–508.
9. Pustoshkin M.M., Analiz taktiki primenenija soedinenij (vojskih chastej, podrazdelenij) svjazi v uslovijah sovremennogo vooruzhennogo protivoborstva // Sbornik nauchnyh trudov III mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: Karbyshevskoe chtenie «Nashe delo pravoe – pobeda budet za nami», t. 6 – Tjumen': TVVIKU, 2024. str. 62-67.
10. Pustoshkin M.M., Ul'janov V.V., Shamsutdinova E.Ju. Osnovnye napravlenija sovershenstvovanija taktiki soedinenij, chastej i podrazdelenij svjazi v uslovijah sovremennogo vooruzhennogo protivoborstva // Sbornik nauchnyh trudov nauchnoj konferencii «Povyshenie oboronosposobnosti gosudarstva 2024» - Voennyj uchebnyj centr SPbPU. – SPb.: 2024. str. 13–17.

¹Oleg Pavlovich Tevs, Candidate of Military Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Combat Use of Signal Troops, Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E mail: tevsolog@rambler.ru

²Maxim M. Pustoshkin, Adjunct of the Department of Combat Use of Signal Troops, Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E mail: max.pustoshkin@yandex.ru

МЕТОД КООРДИНАТОМЕТРИИ ДВУХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ОСНОВАННЫЙ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ

Глебов Р.М.¹, Севидов В.В.²

DOI:10.24682/3034-4050-2024-3-14-19

Ключевые слова: радиотехническая станция, координаты, вектор скорости, временная задержка, частотный сдвиг, эффект Доплера, итерационный алгоритм.

Аннотация

Цель статьи: Представить метод и основные аналитические соотношения по оценке координат и векторов скорости двух космических аппаратов на основе временных задержек и частотных сдвигов радиосигналов земных станций измеренных наземной радиотехнической станцией. Указанные временные задержки и частотные сдвиги обусловлены разными расстояниями и доплеровскими сдвигами частот одних и тех же реализаций радиосигналов на различных радиотрассах.

Метод исследования: В ходе исследования использовались методы моделирования и математического анализа. При решении уравнения второго порядка использовался итерационный метод Ньютона-Рафсона с разложением функций в ряды Тейлора с точностью до первых производных.

Результат: в статье представлен метод координатометрии двух космических аппаратов с использованием земных станций. Представлены основные выражения для временных задержек радиосигналов земных станций, ретранслированных космическими аппаратами. Составлена система из не менее шести независимых уравнений. Результатом решения системы уравнений является координаты двух космических аппаратов. Представлены основные выражения для доплеровских сдвигов частот радиосигналов земных станций, ретранслированных космическими аппаратами. Составлена система из не менее шести независимых уравнений. Результатом решения системы уравнений является ортогональные составляющие векторов скоростей двух космических аппаратов.

Научная новизна: На основе радиосигналов не менее шести земных станций с известными координатами, последовательно ретранслированных и принятых наземной радиотехнической станцией от двух космических аппаратов, определяются координаты и векторы скоростей указанных космических аппаратов. При этом нет необходимости синхронизации с излучением радиосигналов земных станций, что является необходимым условием существующих методов координатометрии.

1. Введение

При прогнозе координат космического аппарата (КА) учитывают ряд факторов, приводящих к отклонениям КА от идеальной (Кеплеровой) орбиты. В качестве таких факторов, например, для КА на низких орбитах выступают: влияние сопротивления атмосферы Земли, светового давления, притяжения планет и др. Таким образом, определение координат и вектора скорости КА в начальный момент времени t_0 с высокой точностью является важной задачей, которая решена при разработке метода координатометрии (МКМ) двух КА с использованием земных станций (ЗС).

Особенность разработанного МКМ двух КА с использованием ЗС заключается в том, что одновременно оцениваются координаты и вектора скорости основного (ОКА) и смежного космического аппарата (СКА).

2. Постановка задачи

Основополагающей предпосылкой предложенного технического решения является наличие помимо ОКА S_1 , через который организуется канал связи между земными станциями, СКА S_2 , который способен ретранслировать те же самые радиоизлучения что и ОКА, но с большим ослаблением и другой частотой переноса [1–5]. Таким образом, за счет корреляционной обработки радиосигналов, возможно получение значений временных задержек и доплеровских сдвигов частот между радиосигналами принятыми приемной радиотехнической станцией (ПРТС) от ОКА S_1 и СКА S_2 , после их ретрансляции ОКА S_1 и СКА S_2 соответственно для каждой из выбранных ЗС I_n [6–10].

На рисунке 1 представлена геометрическая основа разработанной аналитико-имитационной

¹Глебов Роман Михайлович, кандидат военных наук, доцент кафедры радиоэлектронной борьбы Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: irbis453@mail.ru

²Севидов Владимир Витальевич, кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры радиоэлектронной борьбы Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: v-v-sevidov@mail.ru

модели (АИМ) КМ двух КА с использованием ЗС, включающая позиции ОКА S_1 , и СКА S_2 , земных станций I_n и ПРТС K .

тогональных составляющих векторов скоростей ОКА и СКА в момент времени t_0 по предлагаемому методу.

3. Описание разработанного метода

Разработанный МКМ двух КА с использованием ЗС включает:

- алгоритм оценки координат ОКА и СКА;
- алгоритм оценки ортогональных составляющих векторов скоростей ОКА и СКА.

Алгоритм оценки координат ОКА x_1, y_1, z_1 и СКА x_2, y_2, z_2 в момент времени t_0 с использованием ЗС I_n , где $n = 1...N$ — номер ЗС, $N \geq 6$, размещенных на позициях с известными координатами $x_{I_n}, y_{I_n}, z_{I_n}$, основан на том, что каждой из временных задержек Δt_n соответствует разности длин $R_{I_n S_1 K}$ и $R_{I_n S_2 K}$ траекторий $I_n S_1 K$ и $I_n S_2 K$ далее обозначаемые как ΔR_n .

$$\Delta R_n = \Delta t_n c \quad (1)$$

где $c \approx 3 \times 10^8$ м/с — скорость света в вакууме.

Для оценки координат ОКА x_1, y_1, z_1 и СКА x_2, y_2, z_2 с использованием шести ЗС разработан алгоритм, этапы которого представлена ниже.

На этапе 1 производят ввод исходных данных, в качестве которых выступают: момент времени измерения t_0 ; координаты ПРТС x_K, y_K, z_K ; координаты шести ЗС $x_{I_n}, y_{I_n}, z_{I_n}$; временные задержки между радиосигналами принятыми от ОКА и СКА для каждой из выбранных ЗС Δt_n ; пороги точности δ_1 и δ_2 расчета координат ОКА и СКА соответственно.

На этапе 2 рассчитывают разности длин ΔR_n траекторий $I_n S_1 K$ и $I_n S_2 K$ по формулам (1).

На этапе 3 выбирают, на основе элементов Кеплеровой орбиты ОКА и СКА, координаты опорных точек $S'_1(x'_1, y'_1, z'_1)$ и $S'_2(x'_2, y'_2, z'_2)$, как первые приближения к координатам ОКА и СКА.

На этапе 4 рассчитывают разности длин $\Delta R'_n$ траекторий $I_n S'_1 K$ и $I_n S'_2 K$, при условии равенства координат ОКА и СКА координатам опорных точек $S'_1(x'_1, y'_1, z'_1)$ и $S'_2(x'_2, y'_2, z'_2)$ по формулам:

$$\Delta R'_n = R_{I_n S'_1 K} - R_{I_n S'_2 K} = R_{S'_1 I_n} + R_{S'_1 K} - (R_{S'_2 I_n} + R_{S'_2 K}) \quad (2)$$

где $R_{S'_1 I_n}$ — расстояния от опорной точки S'_1 до n -й ЗС I_n , $R_{S'_1 K}$ — расстояние от опорной точки S'_1 до ПРТС K , $R_{S'_2 I_n}$ — расстояния от опорной точки S'_2

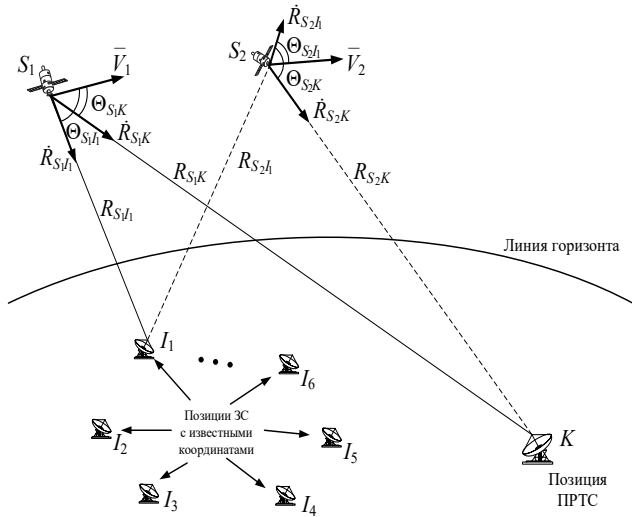


Рис. 1. Геометрическая основа разработанной АИМ КМ

На рис. 1 введены следующие обозначения: $R_{S_1 I_1}$ — расстояние между ОКА S_1 и первой ЗС I_1 ; $R_{S_1 K}$ — расстояние между ОКА S_1 и ПРТС K ; $R_{S_2 I_1}$ — расстояние между СКА S_2 и первой ЗС I_1 ; $R_{S_2 K}$ — расстояние между СКА S_2 и ПРТС K ; $\dot{R}_{S_1 K}$ — радиальная скорость ОКА S_1 в направлении ПРТС K , $\dot{R}_{S_2 I_1}$ — радиальная скорость СКА S_2 в направлении первой ЗС I_1 , $\dot{R}_{S_2 K}$ — радиальная скорость СКА S_2 в направлении ПРТС K , \vec{V}_1 и \vec{V}_2 — векторы скорости ОКА и СКА соответственно, $\Theta_{S_1 K}$ и $\Theta_{S_2 K}$ — углы между направлением на ПРТС и векторами \vec{V}_1 и \vec{V}_2 соответственно; $\Theta_{S_1 I_1}$ и $\Theta_{S_1 I_2}$ — углы между направлениями на первую ЗС и векторами \vec{V}_1 и \vec{V}_2 соответственно.

Для каждой n -й ЗС возможно ввести обозначения: $R_{S_1 I_n}$ — расстояния между ОКА S_1 и n -й ЗС I_n ; $R_{S_2 I_n}$ — расстояния между СКА S_2 и n -й ЗС I_n ; $\dot{R}_{S_1 I_n}$ — радиальные скорости ОКА S_1 в направлении n -ю ЗС I_n , $\dot{R}_{S_2 I_n}$ — радиальные скорости СКА S_2 в направлении n -ю ЗС I_n , $\Theta_{S_1 I_n}$ и $\Theta_{S_1 I_n}$ — углы между направлениями на n -ю ЗС и векторами \vec{V}_1 и \vec{V}_2 соответственно.

На рис. 1 представлено шесть ЗС, как минимально необходимое количество ЗС для однозначной одномоментной оценки координат и ор-

до n -й ЗС I_n , $R_{S'K}$ — расстояние от опорной точки S^2 до ПРТС К.

Расстояния $R_{S'I_n}$, $R_{S'K}$, $R_{S'I_n}$ и $R_{S'K}$ в свою очередь рассчитывают по формулам:

$$R_{S'I_n} = \sqrt{(x'_i - x_{I_n})^2 + (y'_i - y_{I_n})^2 + (z'_i - z_{I_n})^2}, \quad R_{S'K} = \sqrt{(x'_i - x_K)^2 + (y'_i - y_K)^2 + (z'_i - z_K)^2},$$

$$R_{S'I_n} = \sqrt{(x'_i - x_{I_n})^2 + (y'_i - y_{I_n})^2 + (z'_i - z_{I_n})^2}, \quad R_{S'K} = \sqrt{(x'_i - x_K)^2 + (y'_i - y_K)^2 + (z'_i - z_K)^2}.$$

На этапе 5 рассчитывают невязки k_n как разницы между определенными на этапе 4 разностями длин $\Delta R'_n$ траекторий $I_n S_1 K$ и $I_n S_2 K$, и разностями длин ΔR_n траекторий $I_n S_1 K$ и $I_n S_2 K$, определенными на этапе 2 соответственно:

$$k_n = \Delta R'_n - \Delta R_n.$$

На этапе 6 оценивают поправки к координатам ОКА Δx_1 , Δy_1 , Δz_1 и СКА Δx_2 , Δy_2 , Δz_2 .

Для оценки поправок к координатам ОКА Δx_1 , Δy_1 , Δz_1 и СКА Δx_2 , Δy_2 , Δz_2 предварительно формируют систему линейных уравнений при разложении в ряд Тейлора функций $\Delta R'_n$, с точностью до первых членов:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta R'_n}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial \Delta R'_n}{\partial y_1} \Delta y_1 + \frac{\partial \Delta R'_n}{\partial z_1} \Delta z_1 + \frac{\partial \Delta R'_n}{\partial x_2} \Delta x_2 + \frac{\partial \Delta R'_n}{\partial y_2} \Delta y_2 + \frac{\partial \Delta R'_n}{\partial z_2} \Delta z_2 = k_n, \\ n = 1..6, \end{cases} \quad (3)$$

где частные производные рассчитываются согласно выражениям:

$$\frac{\partial \Delta R'_n}{\partial x_1} = \frac{x'_1 - x_{I_n}}{R_{S'_1 I_n}} + \frac{x'_1 - x_K}{R_{S'_1 K}}, \quad \frac{\partial \Delta R'_n}{\partial y_1} = \frac{y'_1 - y_{I_n}}{R_{S'_1 I_n}} + \frac{y'_1 - y_K}{R_{S'_1 K}}, \quad \frac{\partial \Delta R'_n}{\partial z_1} = \frac{z'_1 - z_{I_n}}{R_{S'_1 I_n}} - \frac{z'_1 - z_K}{R_{S'_1 K}},$$

$$\frac{\partial \Delta R'_n}{\partial x_2} = -\frac{x'_2 - x_{I_n}}{R_{S'_2 I_n}} - \frac{x'_2 - x_K}{R_{S'_2 K}}, \quad \frac{\partial \Delta R'_n}{\partial y_2} = -\frac{y'_2 - y_{I_n}}{R_{S'_2 I_n}} - \frac{y'_2 - y_K}{R_{S'_2 K}}, \quad \frac{\partial \Delta R'_n}{\partial z_2} = \frac{z'_2 - z_{I_n}}{R_{S'_2 I_n}} - \frac{z'_2 - z_K}{R_{S'_2 K}}.$$

Решая систему линейных уравнений (3) одним из известных методов, например, методом Крамера, получают поправки к координатам ОКА Δx_1 , Δy_1 , Δz_1 и СКА Δx_2 , Δy_2 , Δz_2 .

На этапе 7 рассчитывают координаты новых опорных точек x''_1 , y''_1 , z''_1 и x''_2 , y''_2 , z''_2 :

$$x''_1 = x'_1 + \Delta x_1, \quad y''_1 = y'_1 + \Delta y_1, \quad z''_1 = z'_1 + \Delta z_1, \quad x''_2 = x'_2 + \Delta x_2, \quad y''_2 = y'_2 + \Delta y_2, \quad z''_2 = z'_2 + \Delta z_2.$$

Этапы 4–7 в совокупности составляют первую итерацию. Далее итерации повторяют, используя каждый раз новые опорные точки, полученные на предыдущей итерации. Количество необходимых итераций зависит требуемой точности определения координат ОКА и СКА. С точностью оценки координат КА напрямую связан величинами шагов итераций для ОКА и СКА d_1 и d_2 .

На этапе 8 определяют шаги итерации d_1 и d_2 как расстояния между текущими и предыдущими опорными точками:

$$d_1 = \sqrt{(x''_1 - x'_1)^2 + (y''_1 - y'_1)^2 + (z''_1 - z'_1)^2}, \quad d_2 = \sqrt{(x''_2 - x'_2)^2 + (y''_2 - y'_2)^2 + (z''_2 - z'_2)^2}$$

На этапе 8 сравнивают d_1 и d_2 с порогами

δ_1 и δ_2 , задаваемым на этапе 1.

Необходимое число итераций, как правило, составляет 2...4. В качестве координат ОКА и СКА x_1 , y_1 , z_1 и x_2 , y_2 , z_2 выбирают значения координат опорных точек на последней итерации, вывод которых осуществляют на этапе 10.

Для оценки ортогональных составляющих векторов скоростей ОКА \dot{x}_1 , \dot{y}_1 , \dot{z}_1 и СКА \dot{x}_2 , \dot{y}_2 , \dot{z}_2 в момент времени t_0 возможно использовать ПРТС К, а также не менее шести выбранных ЗС I_n , (см. рисунок 1), размещенных на позициях с известными координатами x_{I_n} , y_{I_n} , z_{I_n} , излучающие радиосигналы на известных частотах f_n в направлении ОКА и СКА.

В качестве примера в настоящем приложении представлен вариант с шестью ЗС ($n = 1..6$) как минимально необходимого количества ЗС для однозначного одномоментного определения векторов скоростей ОКА \dot{x}_1 , \dot{y}_1 , \dot{z}_1 и СКА \dot{x}_2 , \dot{y}_2 , \dot{z}_2 . Предполагается, что координаты ОКА x_1 , y_1 , z_1 и СКА x_2 , y_2 , z_2 в момент времени t_0 — рассчитаны в соответствии с алгоритмом, представленном выше.

С помощью корреляционной обработки радиосигналов в ПРТС К измеряют значения номиналов частот $f_{I_n S_1 K}$ и $f_{I_n S_2 K}$ принятых радиосигналов n -х ЗС I_n после их ретрансляции ОКА и СКА соответственно.

Для номиналов частот $f_{I_n S_1 K}$ и $f_{I_n S_2 K}$ справедливы аналитические выражения:

$$f_{I_n S_1 K} = f_n + f_{D_{I_n S_1}} + f_{G_1} + f_{D_{I_n S_1 K}}, \quad (4)$$

$$f_{I_n S_2 K} = f_n + f_{D_{I_n S_2}} + f_{G_2} + f_{D_{I_n S_2 K}}, \quad (5)$$

где f_n — значения номиналов частот излучаемых каждой n -й ЗС I_n ; $f_{D_{I_n S_1}}$ и $f_{D_{I_n S_2}}$ — доплеровские сдвиги частот на входе ОКА и СКА соответственно за счет его сближения (удаления) с (n -й ЗС I_n); f_{G_1} и f_{G_2} — заданные частоты сдвига рабочих частот ОКА и СКА соответственно; $f_{D_{I_n S_1 K}}$ и $f_{D_{I_n S_2 K}}$ — доплеровские сдвиги частот на выходе ОКА и СКА соответственно за счет его сближения (удаления) с (n -й ПРТС К).

Предполагают, что нестабильность генератора частот КА известна и компенсируется. Влияние других эффектов на изменение частоты, например, гравитационный и релятивистский эффекты в рамках рассматриваемой задачи, пренебрежимо мало и поэтому не учитывают.

Для расчета ортогональных составляющих векторов скоростей ОКА \dot{x}_1 , \dot{y}_1 , \dot{z}_1 и СКА \dot{x}_2 , \dot{y}_2 , \dot{z}_2 с использованием шести ЗС разработан алгоритм, этапы которого представлены ниже.

На этапе 1 производят ввод исходных дан-

ных, в качестве которых выступают: момент времени измерения t_0 ; координаты ПРТС x_K, y_K, z_K ; координаты ОКА x_1, y_1, z_1 и СКА x_2, y_2, z_2 в момент времени t_0 ; координаты шести ЗС $x_{I_n}, y_{I_n}, z_{I_n}$; значения частот сдвига рабочих частот f_{G1} и f_{G2} ОКА и СКА соответственно; значения номиналов частот излучаемых каждой n -й ЗС f_n ; значения номиналов частот $f_{I_n S_1 K}$ и $f_{I_n S_2 K}$ принятых радиосигналов n -х ЗС I_n после их ретрансляции ОКА и СКА соответственно.

На этапе 2 рассчитывают расстояния $R_{S_1 K}$ и $R_{S_1 I_n}$ от и n -х ЗС I_n и ПРТС K до ОКА S_1 по формулам:

$$R_{S_1 K} = \sqrt{(x_1 - x_K)^2 + (y_1 - y_K)^2 + (z_1 - z_K)^2}, \quad (6)$$

$$R_{S_1 I_n} = \sqrt{(x_1 - x_{I_n})^2 + (y_1 - y_{I_n})^2 + (z_1 - z_{I_n})^2}. \quad (7)$$

На этапе 3 рассчитывают расстояния $R_{S_2 K}$ и $R_{S_2 I_n}$ от и n -х ЗС I_n и ПРТС K до СКА S_2 по формулам:

$$R_{S_2 K} = \sqrt{(x_2 - x_K)^2 + (y_2 - y_K)^2 + (z_2 - z_K)^2}, \quad (8)$$

$$R_{S_2 I_n} = \sqrt{(x_2 - x_{I_n})^2 + (y_2 - y_{I_n})^2 + (z_2 - z_{I_n})^2}. \quad (9)$$

На этапе 4 составляют аналитические выражения для радиальных скоростей $\dot{R}_{S_1 I_n}$ и $\dot{R}_{S_1 K}$ ОКА S_1 относительно каждой из n -й ЗС I_n и ПРТС K соответственно.

Для значений радиальных скоростей $\dot{R}_{S_1 I_n}$ и $\dot{R}_{S_1 K}$ ОКА S_1 возможно записать формулы:

$$\dot{R}_{S_1 I_n} = |\vec{V}_2| \cos \Theta_{S_1 I_n}, \quad (10)$$

$$\dot{R}_{S_1 K} = |\vec{V}_1| \cos \Theta_{S_1 K}, \quad (11)$$

Согласно теореме о скалярном произведении векторов [6] справедливы равенства:

$$\cos \Theta_{S_1 I_n} = \frac{(x_1 - x_{I_n})\dot{x}_1 + (y_1 - y_{I_n})\dot{y}_1 + (z_1 - z_{I_n})\dot{z}_1}{\sqrt{(x_1 - x_{I_n})^2 + (y_1 - y_{I_n})^2 + (z_1 - z_{I_n})^2} \sqrt{\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + \dot{z}_1^2}} \quad (12)$$

$$\cos \Theta_{S_1 K} = \frac{(x_1 - x_K)\dot{x}_1 + (y_1 - y_K)\dot{y}_1 + (z_1 - z_K)\dot{z}_1}{\sqrt{(x_1 - x_K)^2 + (y_1 - y_K)^2 + (z_1 - z_K)^2} \sqrt{\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + \dot{z}_1^2}} \quad (13)$$

Модуль вектора скорости ОКА $|\vec{V}_1|$ равен:

$$|\vec{V}_1| = \sqrt{\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + \dot{z}_1^2}. \quad (14)$$

Уравнения (10) и (11) с учетом (6), (7), (12)... (14) преобразуют к виду:

$$\dot{R}_{S_1 I_n} = \frac{(x_1 - x_{I_n})\dot{x}_1 + (y_1 - y_{I_n})\dot{y}_1 + (z_1 - z_{I_n})\dot{z}_1}{R_{S_1 I_n}}, \quad (15)$$

$$\dot{R}_{S_1 K} = \frac{(x_1 - x_K)\dot{x}_1 + (y_1 - y_K)\dot{y}_1 + (z_1 - z_K)\dot{z}_1}{R_{S_1 K}}. \quad (16)$$

На этапе 5 составляют аналитические выражения для радиальных скоростей $\dot{R}_{S_2 I_n}$ и $\dot{R}_{S_2 K}$ СКА S_2 относительно каждой из n -й ЗС I_n и ПРТС K соответственно.

Для значений $\dot{R}_{S_2 I_n}$ и $\dot{R}_{S_2 K}$ СКА S_2 возможно записать формулы:

$$\dot{R}_{S_2 I_n} = |\vec{V}_2| \cos \Theta_{S_2 I_n}, \quad (17)$$

$$\dot{R}_{S_2 K} = |\vec{V}_2| \cos \Theta_{S_2 K}, \quad (18)$$

Согласно теореме о скалярном произведении векторов [6]:

$$\cos \Theta_{S_2 I_n} = \frac{(x_2 - x_{I_n})\dot{x}_2 + (y_2 - y_{I_n})\dot{y}_2 + (z_2 - z_{I_n})\dot{z}_2}{\sqrt{(x_2 - x_{I_n})^2 + (y_2 - y_{I_n})^2 + (z_2 - z_{I_n})^2} \sqrt{\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2 + \dot{z}_2^2}} \quad (19)$$

$$\cos \Theta_{S_2 K} = \frac{(x_2 - x_K)\dot{x}_2 + (y_2 - y_K)\dot{y}_2 + (z_2 - z_K)\dot{z}_2}{\sqrt{(x_2 - x_K)^2 + (y_2 - y_K)^2 + (z_2 - z_K)^2} \sqrt{\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2 + \dot{z}_2^2}} \quad (20)$$

Модуль вектора скорости СКА $|\vec{V}_2|$ равен:

$$|\vec{V}_2| = \sqrt{\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2 + \dot{z}_2^2}. \quad (21)$$

Уравнения (17) и (18) с учетом (8), (9), (19)... (21) преобразуют к виду:

$$\dot{R}_{S_2 I_n} = \frac{(x_2 - x_{I_n})\dot{x}_2 + (y_2 - y_{I_n})\dot{y}_2 + (z_2 - z_{I_n})\dot{z}_2}{R_{S_2 I_n}}, \quad (22)$$

$$\dot{R}_{S_2 K} = \frac{(x_2 - x_K)\dot{x}_2 + (y_2 - y_K)\dot{y}_2 + (z_2 - z_K)\dot{z}_2}{R_{S_2 K}}. \quad (23)$$

На этапе 6 вычисляют значения разностей частот Δf_n , между принятыми радиосигналами от каждой из n -й ЗС I_n после их ретрансляции ОКА и СКА соответственно по формулам:

$$\Delta f_n = f_{I_n S_1 K} - f_{I_n S_2 K} \quad (24)$$

На этапе 7 вычисляют ортогональные составляющие векторов скоростей ОКА $\dot{x}_1, \dot{y}_1, \dot{z}_1$ и СКА $\dot{x}_2, \dot{y}_2, \dot{z}_2$.

Для значений разностей частот Δf_n , между принятыми радиосигналами от каждой из n -й ЗС I_n после их ретрансляции ОКА и СКА с учетом (4), (5) и (24) возможно составить выражения:

$$\Delta f_n = f_{D_{I_n S_1}} + f_{G_1} + f_{D_{I_n S_1 K}} - (f_{D_{I_n S_2}} + f_{G_2} + f_{D_{I_n S_2 K}}) \quad (25)$$

Доплеровские сдвиги частот на входе $f_{D_{I_n S_1}}$ и на выходе $f_{D_{I_n S_1 K}}$ ОКА S_1 за счет его сближения (удаления) с (от) n -й ЗС I_n и ПРТС K возможно представить в виде:

$$f_{D_{I_n S_1}} = f_n \frac{\dot{R}_{S_1 I_n}}{c}, \quad (26)$$

$$f_{D_{I_n S_1 K}} \approx (f_n + f_{G_1}) \frac{\dot{R}_{S_1 K}}{c}. \quad (27)$$

Доплеровские сдвиги частот на входе $f_{D_{I_n S_2}}$ и на выходе $f_{D_{I_n S_2 K}}$ СКА S_2 за счет его сближения (удаления) с (от) n -й ЗС I_n и ПРТС K возможно представить в виде:

$$f_{D_{I_n S_2}} = f_n \frac{\dot{R}_{S_2 I_n}}{c}, \quad (28)$$

$$f_{D_{inS_2K}} \approx (f_n + f_{G_2}) \frac{\dot{R}_{S_2K}}{c}. \quad (29)$$

Выражения (25) с учетом уравнений (26)... (29) для частного случая, когда $n = 1 \dots 6$, преобразуют в систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 A_{n1} + \dot{y}_1 A_{n2} + \dot{z}_1 A_{n3} + \dot{x}_2 A_{n4} + \dot{y}_2 A_{n5} + \dot{z}_2 A_{n6} = B_n; \\ n=1 \dots 6, \end{cases} \quad (30)$$

где коэффициенты при переменных и свободные члены равны:

$$\begin{aligned} A_{n1} &= \frac{(x_1 - x_{I_n})f_n}{R_{S_1I_n}} + \frac{(x_1 - x_K)(f_n + f_{G_1})}{R_{S_1K}}, & A_{n2} &= \frac{(y_1 - y_{I_n})f_n}{R_{S_1I_n}} + \frac{(y_1 - y_K)(f_n + f_{G_1})}{R_{S_1K}}, \\ A_{n3} &= \frac{(z_1 - z_{I_n})f_n}{R_{S_1I_n}} + \frac{(z_1 - z_K)(f_n + f_{G_1})}{R_{S_1K}}, & A_{n4} &= -\frac{(x_2 - x_{I_n})f_n}{R_{S_2I_n}} - \frac{(x_2 - x_K)(f_n + f_{G_2})}{R_{S_2K}}, \\ A_{n5} &= -\frac{(y_2 - y_{I_n})f_n}{R_{S_2I_n}} - \frac{(y_2 - y_K)(f_n + f_{G_2})}{R_{S_2K}}, & A_{n6} &= -\frac{(z_2 - z_{I_n})f_n}{R_{S_2I_n}} - \frac{(z_2 - z_K)(f_n + f_{G_2})}{R_{S_2K}}, \\ & & B_n &= (\Delta f_n - f_{G_1} + f_{G_2})c. \end{aligned}$$

Систему из шести линейных уравнений с шестью неизвестными (30) решают одним из известных методов, например, методом Крамера. Результатом решения системы уравнений (30) выступают ортогональные составляющие векто-

ров скоростей ОКА $\dot{x}_1, \dot{y}_1, \dot{z}_1$ и СКА $\dot{x}_2, \dot{y}_2, \dot{z}_2$ в момент времени t_0 .

На этапе 8 осуществляют вывод результатов, в качестве которых выступают ортогональные составляющие векторов скоростей ОКА $\dot{x}_1, \dot{y}_1, \dot{z}_1$ и СКА $\dot{x}_2, \dot{y}_2, \dot{z}_2$ в момент времени t_0 .

В общем случае, когда количество ЗС $N > 6$, алгоритм определения ортогональных составляющих ОКА $\dot{x}_1, \dot{y}_1, \dot{z}_1$ и СКА $\dot{x}_2, \dot{y}_2, \dot{z}_2$ остается прежним, с той лишь разницей, что система уравнений (30) будет содержать более шести уравнений. Тогда такую систему уравнений решают, например, методом наименьших квадратов.

4. Заключение

Отличительной особенностью предложенной АИМ КМ оценки координат и векторов скоростей двух КА с использованием не менее шести ЗС заключается в том, что одновременно оцениваются координаты и векторы скоростей двух КА. Представленная АИМ КМ может быть использован в образовательном процессе, а также при проектировании и исследовании точностных характеристик комплексов КМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Simonov A., Fokin G., Sevidov V., Sivers M., Dvornikov S. Polarization direction finding method of interfering radio emission sources. // В сборнике: Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. 2019. С. 208-219.
2. Bachevsky S.V., Fokin G.A., Simonov A.N., Sevidov V.V. Positioning of radio emission sources with unmanned aerial vehicles using TDOA-AOA measurement processing. // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. V International Conference on Information Technology and Nanotechnology, ITNT 2019. 2019. С. 042040.
3. Балабанов В.В., Беспалов В.Л., Кельян А.Х., Пономарев А.А., Севидов В.В., Чемаров А.О. Способ определения параметров орбиты искусственного спутника Земли. Патент на изобретение RU 2652603, 27.04.2018. Заявка № 2017121725 от 20.06.2017.
4. Агиевич С.Н., Беспалов В.Л., Ледовская Э.Г., Матюхин А.С., Подъячев П.А., Севидов В.В. Способ определения параметров орбиты искусственного спутника Земли с использованием приемных опорных реперных станций. Патент на изобретение RU 2702098 С1, 04.10.2019. Заявка № 2018127491 от 25.07.2018.
5. Агиевич С.Н., Ватутин В.М., Матюхин А.С., Модин М.И., Севидов В.В. Способ определения параметров орбиты искусственного спутника земли с использованием приема-передающих опорных реперных станций. Патент на изобретение RU 2708883 С1, 12.12.2019. Заявка № 2018134855 от 01.10.2018.
6. Фокин, Г. А. Использование SDR технологии для задач сетевого позиционирования. Формирование опорных сигналов LTE / Г. А. Фокин, Д. Б. Волгушев, В. Н. Харин // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2022. – Т. 16, № 5. – С. 28–47. – DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-5-28-47.
7. Севидов В.В. Программа оценки точности суммарно-дальномерной системы координатометрии, реализующей итерационный способ Ньютона-Рафсона. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ в ФИПС № 2022669541, от 21.10.2022. Заявка № 2022668607 от 12.10.2022.
8. Новые способы пространственного отождествления координатной информации с источниками радиоизлучения в авиационных угломерных системах радиомониторинга / В. И. Меркулов, А. С. Пляшечник, А. Г. Тетеруков, В. С. Чернов // Радиотехника. – 2020. – Т. 84, № 9(17). – С. 5–25. – DOI 10.18127/j00338486-202009(17)-01.
9. Ковалев, Ф. Н. Точность местоопределения цели в бистатической радиолокационной системе / Ф. Н. Ковалев // Успехи современной радиоэлектроники. – 2022. – Т. 76, № 4. – С. 4–7.
10. Dvornikov, S. S. SSB signals with controlled pilot level / S. S. Dvornikov, K. D. Zheglov, S. V. Dvornikov // T-Comm. – 2023. – Vol. 17, No. 3. – P. 41-47. – DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-3-41-47. – EDN VUZDRH.

METHOD OF COORDINOMETRY OF TWO SPACECRAFT BASED ON THE USE OF EARTH STATIONS

Glebov R.M.¹, Sevidov V.V.²

Keywords: radio station, coordinates, velocity vector, time delay, frequency shift, Doppler effect, iterative algorithm.

Abstract

The purpose of the article: To present a method and basic analytical relations for estimating the coordinates and velocity vectors of two spacecraft based on time delays and frequency shifts of earth station radio signals measured by a ground-based radio engineering station. These time delays and frequency shifts are due to different distances and Doppler frequency shifts of the same implementations of radio signals on different radio paths.

Research method: In the course of the study, the methods of modeling and mathematical analysis were used. To solve the second-order equation, the Newton-Raphson iterative method was used with the decomposition of functions into Taylor series with an accuracy of the first derivatives.

Result: The article presents a method of coordinometry of two spacecraft using earth stations. The main expressions for time delays of radio signals of earth stations relayed by spacecraft are presented. A system of at least six independent equations is compiled. The result of solving the system of equations is the coordinates of two spacecraft, relayed by spacecraft. A system of at least six independent equations has been compiled. The result of solving the system of equations is the orthogonal components of the velocity vectors of the two spacecraft.

Scientific novelty: On the basis of radio signals from at least six earth stations with known coordinates, sequentially relayed and received by a ground radio engineering station from two spacecraft, the coordinates and velocity vectors of these spacecraft are determined. At the same time, there is no need to synchronize with the emission of radio signals of earth stations, which is a prerequisite for existing methods of coordinometry.

REFERENCES

1. Simonov A., Fokin G., Sevidov V., Sivers M., Dvornikov S. Polarization direction finding method of interfering radio 1. Simonov A., Fokin G., Sevidov V., Sivers M., Dvornikov S. Polarization direction finding method of interfering radio emission sources. // V sbornike: Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. 2019. C. 208-219.
2. Bachevsky S.V., Fokin G.A., Simonov A.N., Sevidov V.V. Positioning of radio emission sources with unmanned aerial vehicles using TDOA-AOA measurement processing. // V sbornike: Journal of Physics: Conference Series. V International Conference on Information Technology and Nanotechnology, ITNT 2019. 2019. C. 042040.
3. Balabanov V.V., Bepalov V.L., Kel'yan A.H., Ponomarev A.A., Sevidov V.V., Chemarov A.O. Sposob opredeleniya parametrov orbity iskusstvennogo sputnika Zemli. Patent na izobretenie RU 2652603, 27.04.2018. Zayavka № 2017121725 ot 20.06.2017.
4. Agievich S.N., Bepalov V.L., Ledovskaya E.G., Matyuhin A.S., Pod»yachev P.A., Sevidov V.V. Sposob opredeleniya parametrov orbity iskusstvennogo sputnika Zemli s ispol'zovaniem priemnyh opornyh repnyh stancij. Patent na izobretenie RU 2702098 C1, 04.10.2019. Zayavka № 2018127491 ot 25.07.2018.
5. Agievich S.N., Vatutin V.M., Matyuhin A.S., Modin M.I., Sevidov V.V. Sposob opredeleniya parametrov orbity iskusstvennogo sputnika zemli s ispol'zovaniem priemo-peredayushchih opornyh repnyh stancij. Patent na izobretenie RU 2708883 C1, 12.12.2019. Zayavka № 2018134855 ot 01.10.2018.
6. Fokin G. A. Using SDR technology for network positioning tasks. Formation of LTE reference signals / G. A. Fokin, D. B. Volgushev, V. N. Kharin // T-Comm: Telecommunications and transport. – 2022. – Vol. 16, No. 5. – pp. 28-47. – DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-5-28-47.
7. Sevidov V.V. Program for evaluating the accuracy of the total range measuring system of coordination, which implements the Newton-Raphson iterative method. Certificate of registration of the computer program in FIPS No. 2022669541, dated 10/21/2022. Application No. 2022668607 dated 10/12/2022.
8. New methods of spatial identification of coordinate information with radio emission sources in aviation angle-measuring systems of radio monitoring / V. I. Merkulov, A. S. Plyashechnik, A. G. Teterukov, V. S. Chernov // Radio Engineering. – 2020. – Vol. 84, No. 9(17). – pp. 5-25. – DOI 10.18127/j00338486-202009(17)-01.
9. Kovalev F. N. Accuracy of target location in a bistatic radar system / F. N. Kovalev // Successes of modern radio electronics. – 2022. –
10. Dvornikov, S. S. SSB signals with controlled pilot level / S. S. Dvornikov, K. D. Zheglov, S. V. Dvornikov // T-Comm. – 2023. – Vol. 17, No. 3. – P. 41-47. – DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-3-41-47. – EDN VUZDRH.

¹Roman M. Glebov, Ph.D., Associate Professor of the Department of Electronic Warfare of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail:irbis453@mail.ru

²Vladimir V. Sevidov, Ph.D., Associate Professor, Doctoral Student of the Department of Electronic Warfare of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: v-v-sevidov@mail.ru

ИНФОРМАЦИОННАЯ ВОЙНА ЗАРУБЕЖНЫХ ГОСУДАРСТВ С ЦЕЛЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СИСТЕМУ И ВОЙСКА СВЯЗИ ВС РФ

Вавринюк С.А.¹

DOI: 10.24682/3034-4050-2024-3-20-25

Ключевые слова: *противоборство, информационные операции, киберпространство, контрразведка, критически важные технологии, национальная безопасность, разведывательное сообщество, стратегия, угрозы, уязвимость, система и войска связи.*

Цель работы: *формулирование понятия «информационная война» применительно тезиса воздействия на систему и войска связи, а также выработка контрмер на такое воздействие.*

Метод исследования: *сравнительный анализ*

Результаты исследования: *Результаты затрагивают несколько ключевых аспектов и подчеркивают важность противодействия факторам ведения информационной войны: 1. Успешные операции по распространению дезинформации могут привести к снижению доверия к официальным источникам информации, что ослабит моральный дух войск. 2. Прямые атаки на систему связи может нарушить координацию действий между подразделениями, что приведет к снижению оперативной готовности и эффективности выполнения задач. 3. Повышение осведомленности о возможностях киберугроз может привести к улучшению мер безопасности и позволит выявить новые уязвимости в системах. 4. Информационные войны могут изменить подходы к ведению военных операций, акцентируя внимание на информационном превосходстве, как ключевом элементе стратегии. 5. Необходимость противодействия информационным атакам может стимулировать развитие новых технологий и методов защиты информации. 6. Успешные информационные операции могут изменить баланс сил на международной арене, вызывая ответные действия со стороны других стран.*

Научная новизна: *исследование и объединение знаний из различных областей знаний, предложения мер защиты от информационных атак и повышения устойчивости систем связи и управления.*

Введение

Учитывая характер и движущие силы конфликтов начала XXI века, основными средствами их разрешения могут стать невоенные и, прежде всего, информационные способы воздействия. Развитие мирового сообщества наглядно демонстрирует, что в последнее время критически важным государственным ресурсом, оказывающим все большее влияние на национальную безопасность, становится информация, циркулирующая в автоматизированных системах управления и связи. Данные системы являются неотъемлемым компонентом структуры управления государством, экономикой, финансами и обороной. Ускоренное развитие компьютерных технологий не только в значительной мере способствовало повышению эффективности их функционирования, но и открыло дополнительные возможности для преднамеренного деструктивного воздействия на них противостоящей стороны.

Кроме этого, имеет место информационно-психологическое воздействие, которое представляет собой целенаправленное производство

и распространение специальной информации.

Информация является важнейшим атрибутом процесса управления войсками и оружием. На всех этапах исторического развития военного дела она выступает как объект ожесточенной борьбы. Информационная борьба велась практически во всех войнах. Еще в VI–V веках до н. э. известный китайский полководец и военный теоретик Сунь-Цзы в своем трактате о военном искусстве писал: «...самая лучшая война — разбить замыслы противника; на следующем месте — разбить его союзы; на следующем месте — разбить его войска».

Таким образом, на современном этапе научно-технического развития на смену концепции «тотальной войны», которая может привести к глобальной катастрофе, вошла концепция цивилизованной «информационной войны» (ИВ).

Целевой задачей данной статьи является формулирование понятия «информационная война» применительно тезиса воздействия на систему и войска связи, а также выработка контрмер на такое воздействие.

¹Вавринюк Сергей Адамович, старший преподаватель 45 кафедры, ФГКВБОУ ВПО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного», г. Санкт-Петербург. E-mail: logoshik@mail.ru

1. Формулирование термина «информационная война» с точки зрения воздействия на систему и войска связи

Решающее значение борьбы за информационное превосходство для геополитического соперничества было так или иначе понято специалистами в конце 70-х — самом начале 80-х гг. XX века. В это время произошел перелом в оценках значимости информатизации руководителями государств-лидеров научно-технического прогресса. Были приняты первые государственные программы информатизации общества и вооруженных сил (ВС), которые по своей сути были направлены на наращивание усилий по достижению превосходства в информационной сфере.

Доктринальная проработка вопросов ведения информационного противоборства (ИП) в США началась сразу же по завершении операции «Буря в пустыне» в Персидском заливе (1991 г.), в которой американскими ВС были впервые применены новейшие информационные технологии. Основные принципы ведения информационной войны (ИВ) применительно к ВС были сформулированы в секретной директиве министерства обороны США от 21 декабря 1992 г. № TS 3600.1 «Информационная война». В директиве были сформулированы основные положения стратегии ИП. **В этом документе ИВ определялась как самостоятельный вид оперативного обеспечения** (комплексное информационное воздействие на системы государственного и военного управления противника и системы связи).

По мнению американских аналитиков, ИВ состоит из действий, предпринимаемых для получения *информационного превосходства, под которым понимается достижение военно-стратегического преимущества за счет более высокого, чем у противника, информационного потенциала, который позволяет держать противника в постоянном напряжении, одновременно повышая боевую устойчивость собственных сил.*

В директиве перед объединённым штабом

комитета начальников штабов (КНШ) и штабами видов ВС ставились задачи по разработке военного аспекта новой концепции. Эта работа была завершена к концу 1993 г. и нашла своё отражение в секретной директиве (меморандуме) председателя КНШ ВС США № 30–93. В ней достаточно «аморфные» исходные положения концепции ИВ были трансформированы в концепцию **«Борьбы с системами управления»**, сущность которой определялась как «комплексное проведение по единому замыслу и плану ПсО, мероприятий по маскировке, РЭБ и физическому уничтожению пунктов управления и систем связи противника с тем, чтобы лишить его информации, вывести из строя или уничтожить его системы управления, одновременно защитив свои от аналогичных действий». Позднее военное руководство было вынуждено существенно расширить изложенный в директиве перечень целей проведения информационных операций (ИО).

С выходом в свет данной директивы в ВС США началась активная реорганизация существующих и создание новых организационно-штатных структур, предназначенных для решения задач планирования, моделирования и осуществления действий по борьбе с системами управления от стратегического до оперативно-тактического звеньев ВС. К концу 1998 г. были созданы соответствующие структуры в аппарате министра обороны и КНШ, а также во всех видах ВС США.

Согласно концепции информационной войны США оставляют за собой право на превентивные действия в киберпространстве в отношении враждебных государств в случае, если их политика угрожает или в обозримом будущем будет угрожать национальным интересам США. Кроме того, США также оставляют за собой право на адекватный ответ в случае нападения на информационные системы из кибернетического пространства, а не будут ограничиваться юридическими вопросами и слушаниями в суде по факту нарушения защиты информационных ресурсов [4].



Рис. 1. Современные руководящие документы США в области информационной безопасности

В марте 2023 года принята новая «Национальная стратегия кибербезопасности США» вместо аналогичной 2018 года (Рис. 1).

В целом, анализ руководящих документов США в области ИП показывает, что все они направлены на обеспечение главенствующей роли США во всех сферах деятельности мирового сообщества и носят явно наступательный, агрессивный характер.

Итак, в соответствии с перечисленными руководящими документами, **информационная война — это комплексное воздействие на систему государственного и военного управления противостоящей стороны, ее политическое и военное руководство, которое уже в мирное время приводило бы к принятию благоприятных для США (стран блока НАТО) решений, а в ходе войны полностью парализовало бы всю систему управления противника. Одновременно с этим предусматриваются меры противодействия аналогичным акциям противника, защита своих систем управления от несанкционированного использования, изменения режима функционирования и физического разрушения.**

Война, как таковая не мыслима без проведения операций. **Информационная операция** — действия, предпринимаемые с целью затруднить сбор, обработку, передачу и хранение информации информационными системами противника при защите собственной информации и информационных систем.

Таким образом, особое внимание уделим составным частям информационной войны, касающихся системы и войск связи: **психологические операции; электронная война; дезинформация; меры безопасности, прямые информационные атаки.**

Психологические операции — это программы действий и/или программы подготовки продукции, которые влияют на оценки, мнения и эмоции иностранных объектов воздействия с задачей формирования поведения, отвечающего целям внешней политики США и замыслу соответствующих командиров на стратегическом, оперативном и тактическом уровнях.

К основным средствам ведения психологических операций можно отнести:

- печатные материалы — листовки, плакаты, информационные бюллетени, средства их производства и распространения;
- средства массовой информации — газеты, радио, телевидение, новостные сайты и агрегаторы новостей в сети Интернет;
- интернет-ресурсы: специально созданные сайты и каналы, социальные сети, форумы, чаты.

Электронное вмешательство в процессы командования и управления военными объектами и системами, «штабная война», вывод из строя сетей военных коммуникаций.

Достижение прочного превосходства в электромагнитном спектре (EMS — Electromagnetic Spectrum) связано с концепцией ВС США многодоменных операций (MDO, Multi-Domain Operation) и способствует интеграции традиционных и новых операционных сфер. В 2019 году, исходя из доклада американского Центра стратегических и бюджетных оценок следовало, что США понадобится не менее 10 лет, чтобы сократить разрыв с конкурирующей Россией в электромагнитном спектре. В соответствии с наставлением КНШ ВС США JP 3–85 «Операции объединенных сил в электромагнитном спектре» от 22 мая 2020 г. термин «электронная война» (Electronic Warfare) заменен на термин «электромагнитная война» (Electromagnetic Warfare), который обозначает ведение боевых действий [7]. Основными ее составляющими являются: электромагнитная атака, электромагнитное обеспечение и электромагнитная защита. Надо отметить, что произошла не просто замена терминов, но и реальное изменение организационно-штатных структур основных подразделений, их оснащение современными образцами технических средств.

Примерами такой составляющей могут быть классические радиоигры со стороны вооруженных сил Украины (ВСУ), направленные на введение противника в заблуждение, а также кибервоздействие. Так, по аналитическому отчету компании «Ростелеком-Солар» в первом полугодии 2024 года экспертами зафиксировано 355 тысяч DDoS-атак, совершенных киберпреступниками на российские организации, что на 16% больше, чем за весь 2023 год. Увеличилась мощность таких атак, а продолжительность, наоборот, снизилась, чтобы избежать обнаружения и более эффективно использовать свои ресурсы.

Также можно отметить задержание в Париже основателя мессенджера «Телеграмм» Дурова с целями повлиять на получение ключей шифрования и доступа к контенту пользователей.

1.1. Дезинформация

Дезинформация — это предоставление противнику заведомо ложной информации для более эффективного ведения боевых действий, проверки на утечку информации и направление ее утечки, а также сам процесс манипулирования ею, введение кого-либо в заблуждение путем предоставления неполной или полной, но уже не нужной информации, а также искажения ее части [1]. По данным АНО (автономная не-

коммерческая организация) «Диалог», только за 10 месяцев 2023 года в российском сегменте интернета было зафиксировано три тысячи уникальных фейков и 8.4 миллиона случаев их распространения. По их прогнозам, в этом году число уникальных фейков возрастет до 4.5 тысяч, их копий — до 8 миллионов. При исследовании обычные граждане уверяли, что способны отличить достоверную информацию от недостоверной в 2/3 случаев. Но в реальности, в результате тестирования на предмет наличия базовых компетенций по верификации фейков только 52% экспертов и аналитиков из опрошенных по специальной выборке смогли справиться с заданием, отличив фейк от правдивой информации. Основные потребители фейков — это чаще женщины, чем мужчины (почти 60%) в возрасте от 40 лет. В 55% случаев фейки касаются специальной военной операции, в 17% — политических вопросов, 11% случаев — социальных и криминальных случаев [9].

Меры безопасности (стремление избежать того, чтобы противник узнал о возможностях и намерениях противоборствующей стороны)

В вооруженных силах США обеспечение безопасности предполагает мероприятия по защите информации, информационных систем и другой информационной инфраструктуры от внешних и внутренних угроз. К основным внешним угрозам относится — разведывательная деятельность зарубежных спецслужб, в том числе военной разведки, государственных, общественных, частных и иных организаций и отдельных лиц; воздействия средствами электромагнитных атак, кибератак и других специальных технических средств; диверсионно-подрывная деятельность иностранных спецслужб и сил специальных операций. К основным внутренним угрозам безопасности информации относятся инсайдерские угрозы и разведдеятельность террористических и преступных организаций [2].

Прямые информационные атаки (искажение информации без видимого изменения ее сущности)

Главную опасность представляют не случайные сбои, а целенаправленное воздействие на информационные ресурсы. При этом степень опасности пропорциональна степени централизации и автоматизации процесса управления.

Отметим, что по оценкам зарубежных специалистов восстановление автоматизированных систем раннего предупреждения о воздушно-космическом нападении, систем управления комплексами противоракетной обороны и других систем стратегического назначения практиче-

ски невозможно. Результаты целенаправленного вмешательства в их работу могут иметь катастрофический характер и, по предполагаемому ущербу, сопоставимы с последствиями применения ядерного оружия [10].

2. Определение контрмер воздействиям на систему и войска связи

Если в XX веке сам процесс донесения информации до целевой аудитории занимал определенное осязаемое время, то с появлением и распространением интернет-технологий эти процессы занимают ровно столько времени, сколько нужно для того, чтобы нажать кнопку «Ввод». Это означает, что у обороняющегося попросту нет времени для принятия решений. Действовать приходится на опережение, а значит, нужно принимать превентивные меры, прикрывая уязвимости и обнаруживая их раньше противника [3].

Проактивными мерами для защиты от информационных войн и атак являются с позиции ведения дезинформации и психологических операций:

- критический анализ источников информации (авторитетность портала, газеты или иного канала);
- кросс-проверка сведений из разных источников;
- использование программного обеспечения (ПО) для анализа текста и изображений (программы «ФотоМАСТЕР», «SUPA», сайты Fakecheck, Snopes);
- развитие критического мышления.
- С точки зрения кибербезопасности необходимо использовать следующие меры:
- защита от несанкционированного доступа (определение перечня данных для служебного пользования, организация учета лиц, получивших доступ к конфиденциальной информации);
- применение программ антивирусной защиты (специальное программное обеспечение для обнаружения вредоносных программ и восстановления поврежденных ими файлов);
- использование межсетевых экранов, как инструмента контролирующего входящий, исходящий и внутрисетевой трафик;
- регулярное резервное копирование и своевременное обновление данных;
- использование средств обнаружения и предотвращения вторжений;
- применение средств анализа и контроля защищенности информации;

- применение криптографической защиты информации (процесс использования криптографических методов и алгоритмов для обеспечения конфиденциальности, целостности, аутентификации и доступности данных).

Таким образом, как следует из предпринимаемых с начала 1990-х гг. усилий по всестороннему развитию концепции информационной войны, американское военно-политическое руководство стремится закрепить за США в XXI в. статус информационной сверхдержавы.

Заключение

Таким образом, результаты анализа сущности и содержания ИВ позволяет сделать вывод, что она имеет ряд отличительных особенностей, основными из которых являются:

1. ИВ любого масштаба может вестись без ее юридического объявления.
2. Затруднены определение времени начала войны, а также распознавание противников, их намерений и возможностей.
3. Отсутствуют традиционные препятствия и границы в связи с интеграцией национальных информационных инфраструктур различных стран в глобальные сети, что обеспечивает возможность ведения ИВ с любой территории в любом районе Земли.
4. Существенно расширяется число гражданских лиц, принимающих непосредственное участие в ИВ.
5. Затруднена классификация происходящих событий (технический сбой, халатность персонала, преступный акт или акт ИВ).
6. Высокая уязвимость информационных систем, обеспечивающих функционирование государства и его отдельных структур, от потенциального воздействия на них средствами ИВ.
7. ИВ может вестись без физического уничтожения людей и объектов.
8. Результаты воздействия в ИВ не пропорциональны числу привлекаемых для ее ведения сил и средств.
9. В ИВ самые развитые государства потенциально являются самыми уязвимыми, что обусловлено значительным превышением темпов разработки и совершенствования информационного оружия над темпами развития технологий защиты.
10. ИВ может вестись без ограничений во времени, что связано с существенной разницей в затратах на ведение информационной и обычной войны.
11. Основные итоги ИВ могут сохраняться в течение длительного периода времени.
12. ИВ обеспечивается специфическими средствами и методами их применения [5].

Главная опасность информационной войны заключается в том, что она не несет видимых признаков разрушения. Поэтому специалистам связи необходимо знать основные составные части информационной войны и своевременно использовать проактивные средства и методы защиты.

Литература

1. Заповлев С., Паршин С. Основные составляющие информационных операций вооруженных сил США // Зарубежное военное обозрение, 2021. № 10. С. 3–11.
2. Ласточкин Ю.И., Донсков Ю.Е., Морареску А.Л. Анализ современных концепций по ведению операций в электромагнитном спектре с позиций радиоэлектронной борьбы // Военная мысль. 2021. № 4. С. 29–38.
3. Макаренко С.И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 3 // Системы управления, связи и безопасности. 2020. №2. С. 101–175.
4. Манойло А.В. Информационные войны и психологические операции. Руководство к действию /Горячая линия-Телеком. М.: 2024. – 496с.
5. Маркин А.В. Обобщение боевого опыта южного крыла СВО до апреля 2024 года/Центр специальных программ. М.: Социально-Политическая Мысль, 2024. – 220с.
6. Алаудинов А.А. Современные гибридные войны: формы, методы, технологии (на материалах специальной военной операции на Украине) // Горячая линия-Телеком. М.: 2024. – 296с.
7. Новиков В.К. Информационное оружие – оружие современных и будущих войн // Горячая линия-Телеком. М.: 2024. – 288с.
8. Иванов В. Г. Основы построения и оценки эффективности функционирования системы связи специального назначения в международном вооруженном конфликте на основе многоосферной и конвергентной структуры ее элементов: Монография. – СПб.: ПОЛИТЕХ, 2023. – 298с.
9. Воронова О.Е, Трушин А.С. Современные информационные войны: стратегии, типы, методы, приемы. – М.: Аспект Пресс, 2020. – 176с.
10. Панарин И.Н. Информационная война и коммуникации // Горячая линия-Телеком, 2023. – 236с.

INFORMATION WAR OF FOREIGN STATES FOR THE PURPOSE OF INFLUENCING THE COMMUNICATION SYSTEM AND TROOPS OF THE RF ARMED FORCES

Vavrinyuk S.A.¹

Key words: confrontation, information operations, cyberspace, counterintelligence, critical technologies, national security, intelligence community, strategy, threats, vulnerability, system and signal troops.

The purpose of the work: formulation of the concept of «information war» in relation to the thesis of influencing the system and signal troops, as well as the development of countermeasures to such impact.

Research method: comparative analysis.

Results of the study: The results address several key aspects and highlight the importance of countering the factors of information warfare: 1. Successful disinformation operations can lead to a decrease in trust in official sources of information, which will weaken troop morale. 2. Direct attacks on the communication system can disrupt the coordination of actions between departments, which will lead to a decrease in operational readiness and efficiency of task performance. 3. Increased awareness of the capabilities of cyber threats can lead to improved security measures and allow new vulnerabilities in systems to be identified. 4. Information wars can change approaches to the conduct of military operations, focusing on information superiority as a key element of strategy. 5. The need to counter information attacks can stimulate the development of new technologies and methods of information protection. 6. Successful information operations can change the balance of power in the international arena, provoking retaliatory actions from other countries.

Scientific novelty: research and consolidation of knowledge from various fields of knowledge, proposals for protection against information attacks and increasing the stability of communication and control systems.

References

1. Zapolev S., Parshin S. Osnovnye sostavljajushhie informacionnyh operacij vooruzhennyh sil SShA // Zarubezhnoe voennoe obozrenie, 2021. № 10. S. 3–11.
2. Lastochkin Ju.I., Donskov Ju.E., Moraresku A.L. Analiz sovremennyh koncepcij po vedeniju operacij v jelektromagnitnom spektre s pozicij radioelektronnoj bor'by // Voennaja mysl'. 2021. № 4. S. 29–38.
3. Makarenko S.I. Analiz sredstv i sposobov protivodejstvija bespilotnym letatel'nyh apparatam. Chast' 3 // Sistemy upravlenija, svjazi i bezopasnosti. 2020. №2. S. 101–175.
4. Manojlo A.V. Informacionnye vojny i psihologicheskie operacii. Rukovodstvo k dejstviju /Gorjachaja linija-Telekom. M.: 2024. – 496s.
5. Markin A.V. Obobshhenie boevogo opyta juzhnogo kryla SVO do aprelja 2024 goda/Centr special'nyh programm. M.: Social'no-Politicheskaja MYSL", 2024. – 220s.
6. Alaudinov A.A. Sovremennye gibridnye vojny: formy, metody, tehnologii (na materialah special'noj voennoj operacii na Ukraine) // Gorjachaja linija-Telekom. M.: 2024. – 296s.
7. Novikov V.K. Informacionnoe oruzhie – oruzhie sovremennyh i budushhijh vojn // Gorjachaja linija-Telekom. M.: 2024. – 288s.
8. Ivanov V. G. Osnovy postroenija i ocenki jeffektivnosti funkcionirovanija sistemy svjazi special'nogo naznacheniya v mezhdunarodnom vooruzhennom konflikte na osnove mnogosfernoj i konvergentnoj struktury ee jelementov: Monografija. – SPb.: POLITEH, 2023. – 298s.
9. Voronova O.E, Trushin A.S. Sovremennye informacionnye vojny: strategii, tipy, metody, priemy. – M.: Aspekt Press, 2020. – 176s.
10. Panarin I.N. Informacionnaja vojna i kommunikacii // Gorjachaja linija-Telekom, 2023. – 236s.

¹Sergey A. Vavrinyuk, Senior Lecturer of the 45th Department, Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: logoshik@mail.ru



МОДЕЛЬ РАДИОЛИНИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ С ПАРЦИАЛЬНЫМИ КАНАЛАМИ

Драгунов М.Ю.¹

DOI:10.24682/3034-4050-2024-3-26-32

Ключевые слова: спутниковая радиолиния, ретранслятор связи, земная станция, прямая ретрансляция сигналов, радиолиния спутниковой связи, парциальный канал, частотный ресурс, баланс мощностей.

Цель исследования: разработать модель радиолинии спутниковой связи, работающей несколькими парциальными каналами в стволе с прямой ретрансляцией для нужд военных потребителей.

Метод исследования: сводится к определению энергетических параметров радиолинии спутниковой связи с парциальными каналами с учетом требований к скорости передачи и качеству канала связи. При решении научной задачи использовался метод энергетического расчета линии спутниковой связи в режиме прямой ретрансляции.

Результат: предложена модель радиолинии спутниковой связи в стволе с прямой ретрансляцией при работе земными станциями с парциальными каналами. В отличие от существующих моделей, где радиолиния спутниковой связи представлена одним каналом с фиксированным диапазоном частот в стволе спутникового ретранслятора связи, в предлагаемой модели количество каналов (парциальных) изменяется в зависимости от исходных данных для моделирования радиолинии спутниковой связи, а также в работе усилителя мощности земной станции в многосигнальном режиме, сохраняя баланс мощностей на его выходе. Модель радиолинии позволяет получить основные энергетические параметры системы, оценить качество связи в различных условиях. Это позволяет ставить и решать задачи оптимизации распределения частотного ресурса спутникового ретранслятора связи по критерию максимума пропускной способности при выполнении требований к достоверности передачи информации и готовности направления спутниковой связи, что, в свою очередь, повышает скорость передачи радиолинии спутниковой связи.

Практическая ценность: предлагаемая модель радиолинии спутниковой связи позволяет повысить скорость передачи данных за счет подбора частотных полос для парциальных каналов и гибкой настройки параметров каждого парциального канала в зависимости от требований к качеству связи, доступного ресурса и помеховой обстановки.

Введение

Спутниковая связь играет важную роль в современных телекоммуникационных системах, обеспечивая глобальное покрытие и высокую пропускную способность. Так, вооруженные конфликты последних десятилетий и специальная военная операция, проводимая Российской Федерацией, определили ключевую роль спутниковой связи при организации связи в тактическом звене управления.

В настоящее время основную часть потребностей всех видов и родов Вооруженных сил Российской Федерации (ВС РФ) в спутниковой связи обеспечивает ЕССС-2. В данной системе эксплуатируется и продолжает модернизироваться многочисленный парк станций спутниковой связи как общего применения, так и специализированных станций для всех видов и родов войск, а также для специальных объектов ВС.

Продолжает развиваться система нового поколения ЕССС-3, в составе орбитальной группировки и земных станций, которая по своим возможностям соответствует современным требованиям по управлению войсками [1, 2, 3].

В работе [4] предложена методика распределения частот спутникового ретранслятора связи при работе земными станциями (ЗС) с парциальными каналами (ПК), суть которой заключается в перераспределении диапазона частот ретранслятора связи (РС), выделенного для работы одной станции на несколько меньших диапазонов, которые подбираются из числа незанятых частот всего ствола РС. Таким образом, предлагается распределить незанятый частотный ресурс РС для работы ЗС с ПК.

Для силовых структур станция с ПК удобна, т.к. позволяет повысить коэффициент использо-

¹Драгунов Михаил Юрьевич, адъюнкт кафедры военных систем космической, радиорелейной, тропосферной связи и навигации Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E mail: dragunov1992@mail.ru

вания ствола РС, разведзащищенность радиолоний за счет распределения трактов передачи и приема по всей частотной полосе ствола ретранслятора, а также адаптивно менять частоты ПК при воздействии помехи.

Недостатками ЗС с ПК являются: усложнение аппаратуры, которое устраняется использованием цифровой обработки сигналов; усложнение процесса установления

и ведения связи, которое должно минимизироваться путем автоматизации указанных процессов; необходимостью реализации в ЗС с ПК подсистемы мониторинга наличия сигналов и помех в стволе ретранслятора.

Постановка задачи на моделирование спутниковой радиолонии с несколькими парциальными каналами

Эффективное моделирование радиолонии является ключевым этапом

в проектировании и оптимизации спутниковых систем связи. Модель спутниковой радиолонии с ПК включает в себя несколько основных элементов (рис. 1):

1. передающий тракт ЗС для формирования и излучения радиосигналов нескольких ПК;
2. среда распространения радиосигнала;
3. спутник — ретранслятор;
4. приемный тракт ЗС для приема и обработки нескольких ПК.

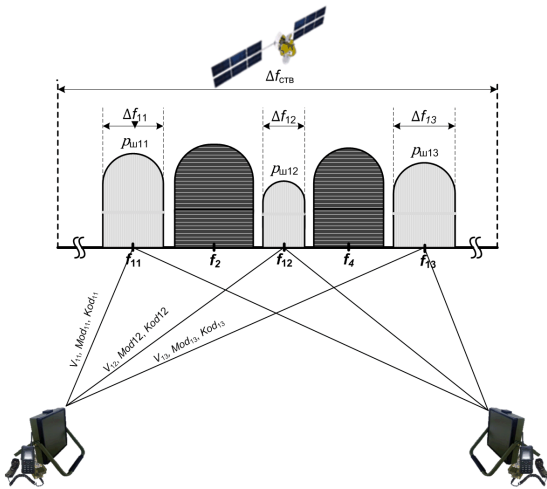


Рис. 1. Схема спутниковой радиолонии с несколькими парциальными каналами

Согласно логике работы ЗС с ПК каждое направление спутниковой связи реализуется несколькими ПК, каждый из которых имеет свой набор параметров ($V_{ij}, f_{ij}, P_{ij}, Mod_{ij}, Kod_{ij}$) где i — номер ЗС ($i=1...N$), j — номер ПК ($j=1...N$).

Q_i): Q_i — количество ПК i -й ЗС; V_{ij} входная абонентская скорость передачи ПК; f_{ij} — частота несущей радиосигнала; P_{ij} — мощность радиосигнала; Mod_{ij} — модуляция радиосигнала; Kod_{ij} — вид и параметры помехоустойчивого кодирования [4].

Радиолония спутниковой связи с несколькими ПК работает на свободных участках частотного диапазона ствола РС — $\Delta f_{11}, \Delta f_{12}, \Delta f_{13}$ (рис. 1). Скорость передачи в радиолонии спутниковой связи распределяется между ПК, причем скорости в каждом из ПК не зависят друг от друга:

$$V_i = \sum_{j=1}^{Q_i} V_{i,j} \tag{1}$$

Таким образом, модель радиолонии при работе ЗС с ПК должна позволить определить уровень сигнала $P_{пер\ ЗС}$ на выходе передатчика ЗС и его распределение по ПК, достаточное для обеспечения связи с требуемым качеством, определяемым вероятностью битовой ошибки на выходе каждого ПК.

Модель радиолонии спутниковой связи при работе земными станциями с парциальными каналами

Целью моделирования является определение основных энергетических параметров радиолонии с ПК [5, 6, 7]. Энергетический расчет линии спутниковой связи с ПК в режиме прямой ретрансляции сигнала проводится по методике, представленной в [7].

Уровень сигнала передающей ЗС на входе ствола РС определяется основным уравнением радиосвязи:

$$P_{пр\ РС} [дБ] = P_{пер\ ЗС} - \eta_{пер\ ЗС} + G_{пер\ ЗС} + G_{пр\ РС} - \eta_{пр\ РС} - L_{\Sigma 1}, \tag{2}$$

где $P_{пер\ ЗС}$ — мощность передатчика ЗС; $\eta_{пер\ ЗС}$ — затухание сигнала в передающем фидерном тракте ЗС; $G_{пер\ ЗС}$ — коэффициент усиления антенны ЗС на передачу; $G_{пр\ РС}$ — коэффициент усиления антенны РС на прием; $\eta_{пр\ РС}$ — затухание сигнала в приемном фидерном тракте РС; $L_{\Sigma 1}$ — суммарное затухание сигнала на участке земля-борт.

Кроме сигнала передающей ЗС на входе приемника РС присутствуют сигналы других ЗС и шумы: внутренний (собственный) шум приемного тракта РС, который пересчитывается к его входу; шумы антенны РС, которые включают: космический шум, шум атмосферы с гидрометеорами; шум земли; шум атмосферы, отраженный от зем-

ли; собственный шум антенны из-за омических потерь в ее элементах; шум обтекателя антенны.

Данные шумы вместе с сигналами ЗС ретранслируются с усилением и излучаются в сторону Земли, мешая приемной ЗС.

Уровни сигнала передающей ЗС и шума РС на входе приемной ЗС также определяются основным уравнением радиосвязи:

$$P_{пр\ ЗС} [дБ] = P_{пер\ РС} - \eta_{пер\ РС} + G_{пер\ РС} + G_{пр\ ЗС} - \eta_{пр\ ЗС} - L_{\Sigma 2}, \quad (3)$$

где $P_{пер\ РС}$ — мощность передатчика РС, затраченная на излучение сигнала ЗС № 1 или шума; $\eta_{пер\ РС}$ — затухание сигнала в передающем фидерном тракте РС; $G_{пер\ РС}$ — коэффициент усиления антенны РС на передачу; $G_{пр\ ЗС}$ — коэффициент усиления антенны ЗС на прием; $\eta_{пр\ ЗС}$ — затухание сигнала в приемном фидерном тракте ЗС; $L_{\Sigma 2}$ — суммарное затухание сигнала на участке борт-земля.

На входе приемной ЗС присутствуют: полезный сигнал передающей ЗС; шумы, ретранслированные РС; внутренний (собственный) шум приемного тракта приемной ЗС, который пересчитывается к его входу; шумы антенны ЗС, которые включают: космический шум, шум атмосферы с гидрометеорами; шум земли; шум атмосферы, отраженный от земли; собственный шум антенны из-за омических потерь в ее элементах; шум об-

текателя антенны.

Зная мощность сигнала приемной ЗС и суммарную мощность шумов на входе приемной ЗС, можно вычислить отношение сигнал/шум в полосе частот полезного сигнала:

$$h^2 = \frac{E_{\sigma}}{N_{ш}}, \quad (4)$$

где $E_{\sigma} = P_c T_{\sigma}$ — энергия, приходящаяся на передачу одного бита длительностью T_{σ} ; $N_{ш}$ — спектральная плотность мощности шума.

Если $h^2 \geq h^{2*}$, где h^{2*} — требуемое значение отношения сигнал-шум для заданного качества связи, то направление радиолинии спутниковой связи от передающей до приемной ЗС считается пригодным.

Аналогичным образом определяется пригодность направления радиолинии спутниковой связи в обратном направлении. Для определения требуемой мощности сигнала на выходе передатчика ЗС, необходимо проводить расчет радиолинии спутниковой связи «из конца в начало», начиная с определения h^{2*} на входе приемника ЗС, как представлено на рисунке 3, где K_P^o — коэффициент усиления мощности ствола РС.

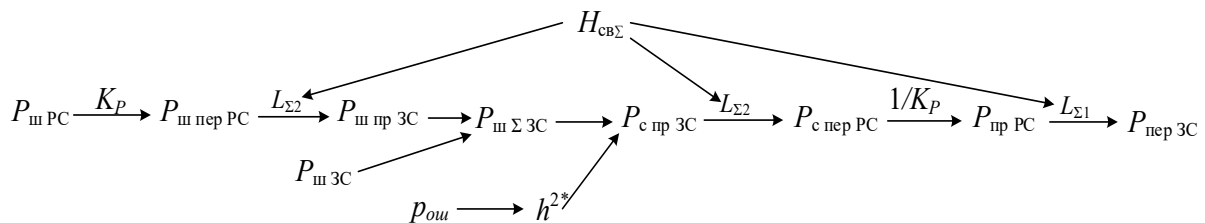


Рис.3. Последовательность определения величин при энергетическом расчете радиолинии спутниковой связи в режиме прямой ретрансляции

Итоговое выражение для определения необходимого уровня сигнала на выходе усилителя мощности ЗС с ПК:

$$\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{Q_i} \left[\frac{E_{ЗС i} \cdot E_{РС} \cdot G_{прм\ ЗС i} \cdot G_{прм\ РС} \cdot \eta_{прм\ ЗС i} \cdot \eta_{прм\ РС}}{E_{ЗС i} \cdot G_{прм\ РС} \cdot \eta_{прм\ РС} \cdot P_{ш\ ЗС i} \cdot L_{\Sigma 2} + E_{РС} \cdot G_{прм\ ЗС ш} \cdot \eta_{прм\ ЗС ш} \cdot P_{ш\ РС} \cdot L_{\Sigma 1}} \right] \quad (5)$$

где $E_{ЗС i}, E_{РС}$ — эквивалентная изотропно-излучаемая мощность i -го ПК и РС.

Требования к скорости передачи ЗС задаются системой неравенств:

$$\sum_{j=1}^{Q_i} V_{i,j} = V_i^* \quad Q_i \leq Q_i^* \quad i=1 \dots N, \quad (6)$$

где Q_i^* — максимально допустимое количество ПК i -й ЗС.

При подаче на вход УМ сигнала нескольких ПК, суммарный уровень сигнала равен:

$$P_{вх\ УМ} = \sum_{i=1}^N P_{вх\ i} \quad (7)$$

где N — количество ПК; $P_{вх\ i}$ — мощность сигнала i -го ПК на входе УМ.

Мощность сигнала на выходе УМ:

$$P_{вых\ УМ} = K \cdot P_{вх\ 1} + K \cdot P_{вх\ 2} + \dots + K \cdot P_{вх\ N} = K \cdot \sum_{i=1}^N P_{вх\ i}, \quad (8)$$

где K — коэффициент усиления.

Так как скорость передачи ПК V_i различна, то для достижения одинаковой вероятности ошибочного приема бита необходимо обеспечить разную мощность их излучения.

Зная допустимую вероятность ошибки приема бита, вид модуляции и кодирования, можно определить требуемое общее значение $h^2 = P_c/P_{ш}$ на входе демодуляторов ПК.

В i -м ПК мощность шума зависит от скорости передачи через Δf_i — полосу частот сигнала:

$$P_{ш i} = n_{ш} k T_0 \Delta f_i, \quad (9)$$

где $n_{ш}$ — коэффициент шума приемника, определяемый малошумящим усилителем, общим для всех ПК, а $k T_0 = 4 \cdot 10^{-21}$ Вт/Гц.

Для i -го ПК:

$$h^2 = \frac{P_i}{P_{ш i}} = \frac{P_{i+1}}{P_{ш i+1}} = \frac{P_N}{P_{ш N}}, \quad (10)$$

откуда баланс мощностей излучаемых сигналов

будет следующим:

$$\frac{P_{c i}}{P_{ш i}} = \frac{\Delta f_i}{\Delta f_{i+1}} = \frac{V_i}{V_{i+1}} \quad (11)$$

Выходная мощность i -го ПК:

$$P_{вых i} = P_{ум} \frac{P_{вх i}}{\sum_{i=1}^N P_{вх i}} = P_{ум} \frac{V_i}{\sum_{i=1}^N V_i}. \quad (12)$$

Итоговая схема модели радиолинии спутниковой связи при работе ЗС с ПК представлена на рисунке 4. Исходя из режимов работы ЗС с ПК и упрощения расчета энергетических характеристик ПК целесообразно зафиксировать некоторые параметры парциальных радиолиний: модуляция — фазовая двухпозиционная (ФМ-2) или квадратурная (ФМ-4); кодирование — сверточное ($R = 1/2$, $K = 5$) или ($R = 3/4$, $K = 7$).

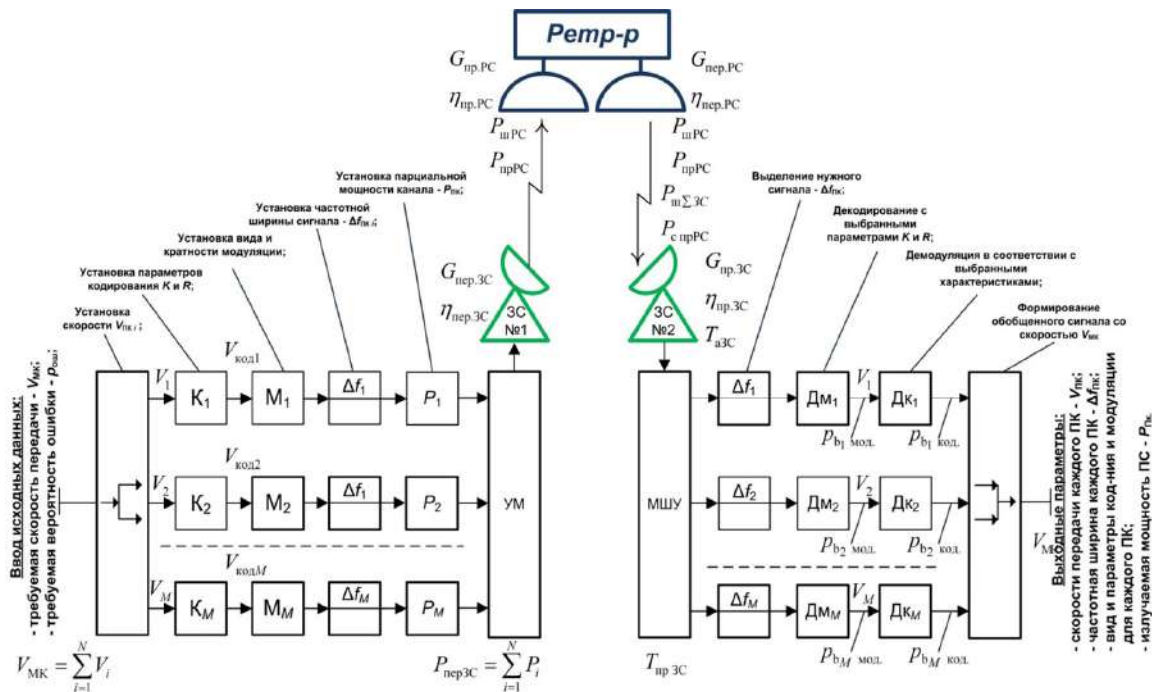


Рис.4. Модель радиолинии спутниковой связи при работе земными станциями с парциальными каналами

В данной постановке возможны два варианта расчета радиолинии с ПК:

- при фиксированном значении суммарной скорости передачи данных (скорость магистрального канала) — $V_{МК} = \sum_{j=1}^{Q_i} V_{i,j}$
- при фиксированном значении суммарной ширины полосы частот — $\Delta f_{\Sigma ПК}$, необходимой для работы ЗС с ПК с требуемыми параметрами.

Наибольший интерес представляет вариант с фиксированным значением $V_{МК}$, т.к. при определении необходимого для работы количества ПК нет привязки к значениям $\Delta f_{i j}$ подбор частотных полос осуществляется в соответствии с требованиями к качеству ПК радиолинии.

Результаты расчета для первого варианта с учетом фиксированных параметров модуляции и кодирования для каждого ПК представлены в таблице 1 и на рисунках 5 и 6.

Характеристики радиолинии при работе ЗС с ПК

Характеристика СРЛ	Значение		
	1-й ПК	2-й ПК	3-й ПК
Скорость передачи данных, кбит/с	0.75	0.5	0.25
Занимаемая полоса частот, Гц	500	500	500
Вид и параметры модуляции и помехоустойчивого кодирования	ФМ-4, R=3/4, K=7	ФМ-4, R=1/2, K=5	ФМ-2, R=1/2, K=5
Вероятность битовой ошибки в канале	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵

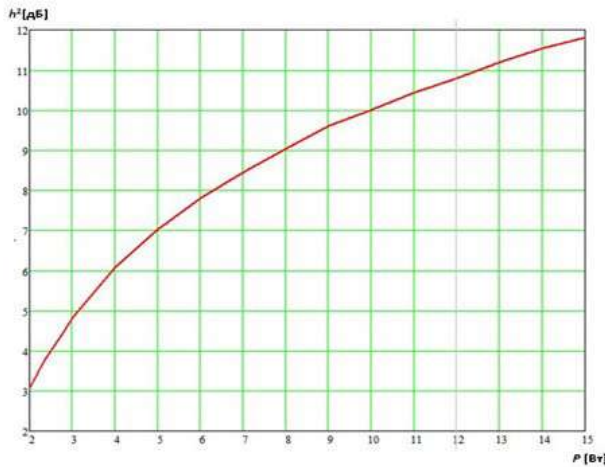


Рис.5. Зависимость отношения сигнал-шум от мощности передатчика ЗС с ПК

Оценка вероятности битовой ошибки p_b проводилась для каждого ПК, в зависимости от выбранных модуляции (13) и помехоустойчивого кодирования (14) [8, 9, 10].

$$p_{b \text{ мод.}} = \frac{\sum_{i=1}^{Q_i} p_{b_i \text{ мод.}}}{Q_i} = \frac{\sum_{i=1}^{Q_i} \frac{1}{\sqrt{4\pi E_{b_i} \Delta f_i}} \exp\left(-\frac{E_{b_i} \Delta f_i}{P_{ш i}}\right)}{Q_i} \quad (13)$$

где $E_{b_i} / P_{ш i}$ — отношение энергии бита к мощности шума i -го ПК; Δf_i — ширина полосы частот i -го ПК; Q_i — количество ПК.

$$p_{b \text{ код.}} = \frac{\sum_{i=1}^{Q_i} p_{b_i \text{ код.}}}{Q_i} = \frac{\sum_{i=1}^{Q_i} \frac{1}{\sqrt{4\pi R \Delta f_i}} \exp\left(-R \frac{E_{b_i} \Delta f_i}{P_{ш i}}\right)}{Q_i} \quad (14)$$

где R — степень помехоустойчивого кодирования.

Таким образом, для достижения необходимой вероятности битовой ошибки передающая станция должна работать с мощностью передатчика равным 5 Вт.

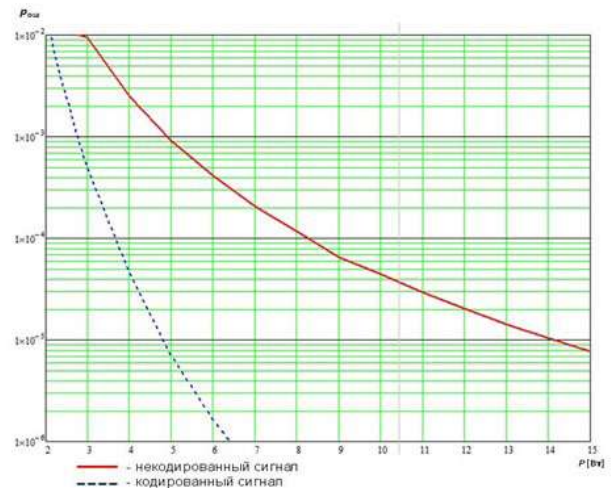


Рис.6. Зависимость вероятности битовой ошибки от мощности передатчика ЗС с ПК

Выводы

В статье рассмотрена модель радиолинии спутниковой связи специального назначения работающая ЗС с ПК, выполнена оценка качества принимаемого сигнала в различных условиях, что критически важно для обеспечения надежности систем.

Приведенная модель позволяет получить основные энергетические параметры радиолинии спутниковой связи в том числе при условии сложной шумовой обстановки, что позволяет повысить помехоустойчивость радиолинии и скорость передачи данных.

Литература

1. Стрелец В. Перспективы спутниковой связи в свете решений ВКР // Электросвязь. 2020. №2. С. 5-9.
2. Владимирова Л. Спутниковая связь на пороге больших перемен // Первая миля. 2019. № 8 (85). С. 16-19.
3. Маслаков П.А., Копалов Ю.Н. Пути развития систем спутниковой связи в условиях совершенствования телекоммуникационных технологий // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2023. № 9-10 (183-184). С. 39-46.
4. Бурлаков С. О., Драгунов М. Ю., Мишин Д. Ю., Новиков Е. А. Методика распределения частот спутникового ретранслятора для работы земных станций с парциальными каналами – СПб.: Труды военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. 2024. № 691. С. 26-31.
5. Жирнов А.И., Забело А.Н., Веркин С.С., Таиров Р.З., Горанько С.А., Методика расчета энергетических показателей радиолинии спутниковой связи // Вопросы науки. 2022. № 3. С. 15-20.
6. Чипига А.Ф., Щербаков В.С. Энергетический расчет спутниковой радиолинии в диапазоне метровых волн // В сборнике: Актуальные проблемы современной науки. Международная научно-практическая конференция. Северо-кавказский гуманитарно-технический институт (Россия); Словацкий университет святых Кирилла и Мефодия (Словакия); Словацкий технологический университет в Братиславе (Словакия); Северо-Кавказский федеральный университет, Институт информационных технологий и телекоммуникаций (Россия); Филиал ВНИИ МВД России по СКФО (Россия). 2013. С. 188-191.
7. Бурлаков С.О., Веркин С.С., Егрушев В.Е., Антонов В.В. Методика оценки требуемой мощности передатчика земной станции // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 23. С. 728-734.
8. Звонарев В.В. Попов А.С. Потенциальная помехоустойчивость когерентного приема четырехпозиционного фазоманипулированного радиосигнала в присутствии когерентной гармонической помехи // Информационно — управляющие системы. 2021. №1 (110). С. 45-54.
9. Паршуткин А.В., Бучинский Д.И., Комлык Д.А. Исследование помехоустойчивости приемников сигналов с дискретной фазовой модуляцией в условиях помех с угловой модуляцией шумов // Труды МАИ. 2023. №129.
10. Агеев Ф.И., Вознюк В.В. Методика расчета вероятности битовой ошибки оптимального посимвольного когерентного приема двоичных противоположных фазоманипулированных сигналов при наличии в канале радиосвязи узкополосной шумовой помехи // Труды МАИ. 2022. № 124.

SATELLITE RADIO LINK MODEL WHEN USING EARTH STATIONS WITH PARTIAL CHANNELS

Dragunov M.Yu.¹

Keywords: *satellite radio link, communication repeater, earth station, direct relay of signals, satellite communication radio link, partial channel, frequency resource, power balance.*

The purpose of the study: *to develop a model of a satellite communication radio link operating with several partial channels in a trunk with direct relay for the needs of military users.*

Research method: *it is reduced to determining the energy parameters of a satellite radio link with partial channels, taking into account the requirements for the transmission speed and quality of the communication channel. In solving the scientific problem, the method of energy calculation of the satellite communication line in the direct relay mode was used.*

Result: *a model of a satellite communication radio link in a trunk with a direct relay is proposed when operating with earth stations with partial channels. In contrast to existing models, where a satellite communication radio link is represented by a single channel with a fixed frequency range in the trunk of a satellite communication repeater, in the proposed model the number of channels (partial) varies depending on the initial data for modeling a satellite communication radio link. as well as in the operation of the power amplifier of the earth station in multi-signal mode, maintaining the balance of power at its output. The radio link model allows you to obtain the main energy parameters of the system, to evaluate the quality of communication in various conditions. This makes it possible to set and solve the problems of optimizing the distribution of the frequency resource of the satellite repeater of communication according to the criterion of maximum bandwidth while meeting the requirements for the reliability of information transmission and the readiness of the satellite communication direction, which, in turn, increases the speed of transmission of the satellite communication radio link.*

Practical value: *the proposed model of a satellite radio link makes it possible to increase the speed of data transmission due to the selection of frequency bands for partial channels and flexible configuration of the parameters of each partial channel depending on the requirements for the quality of communication, available resource and interference environment.*

¹Mikhail Yu. Dragunov, Adjunct of the Department of Military Systems of Space, Radio Relay, Tropospheric Communication and Navigation, Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E mail: dragunov1992@mail.ru

References

1. Strelec V. Perspektivy sputnikovoj svjazi v svete reshenij VKR // Jelektrosvjaz'. 2020. №2. S. 5-9.
2. Vladimirova L. Sputnikovaja svjaz' na poroge bol'shish peremen // Pervaja milja. 2019. № 8 (85). S. 16-19.
3. Maslakov P.A., Kopalov Ju.N. Puti razvitija sistem sputnikovoj svjazi v uslovijah sovershenstvovanija telekommunikacionnyh tehnologij // Voprosy oboronnoj tehniki. Serija 16: Tehnicheskie sredstva protivodejstvija terrorizmu. 2023. № 9-10 (183-184). S. 39-46.
4. Burlakov S. O., Dragunov M. Ju., Mishin D. Ju., Novikov E. A. Metodika raspredelenija chastot sputnikovogo retransljatora dlja raboty zemnyh stancij s parcial'nymi kanalami – SPb.: Trudy voenno-kosmicheskoy akademii imeni A. F. Mozhajskogo. 2024. № 691. S. 26-31.
5. Zhirnov A.I., Zabelo A.N., Verkin S.S., Tairov R.Z., Goran'ko S.A., Metodika rascheta jenergeticheskikh pokazatelej radiolinii sputnikovoj svjazi // Voprosy nauki. 2022. № 3. S. 15-20.
6. Chipiga A.F., Shherbakov V.S. Jenergeticheskij raschet sputnikovoj radiolinii v diapazone metrovyh voln // V sbornike: Aktual'nye problemy sovremennoj nauki. Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija. Severo-kavkazskij gumanitarno-tehnicheskij institut (Rossija); Slovackij universitet svjatyh Kirilla i Mefodija (Slovakija); Slovackij tehnologicheskij universitet v Bratislave (Slovakija); Severo-Kavkazskij federal'nyj universitet, Institut informacionnyh tehnologij i telekommunikacij (Rossija); Filial VNII MVD Rossii po SKFO (Rossija). 2013. S. 188-191.
7. Burlakov S.O., Verkin S.S., Egrushev V.E., Antonov V.V. Metodika ocenki trebuemoj moshhnosti peredatchika zemnoj stancii // Innovacii. Nauka. Obrazovanie. 2020. № 23. S. 728-734.
8. Zvonarev V.V. Popov A.S. Potencial'naja pomehoustojchivost' kogerentnogo priema chetyrehpozicionnogo fazomanipulirovannogo radiosignala v prisutstvii kogerentnoj garmonicheskoy pomehi // Informacionno – upravljajushhie sistemy. 2021. №1 (110). S. 45-54.
9. Parshutkin A.V., Buchinskij D.I., Komlyk D.A. Issledovanie pomehoustojchivosti priemnikov signalov s diskretnoj fazovoj moduljaciej v uslovijah pomeh s uglovoj moduljaciej shumov // Trudy MAI. 2023. №129.
10. Ageev F.I., Voznjuk V.V. Metodika rascheta verojatnosti bitovoj oshibki optimal'nogo posimvol'nogo kogerentnogo priema dvoichnyh protivopolozhnyh fazomanipulirovannyh signalov pri nalichii v kanale radiosvjazi uzkopolosnoj shumovoj pomehi // Trudy MAI. 2022. № 124.



ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ

Чихачев А.В.¹, Будко П.А.², Шмидт А.А.³

DOI:10.24682/3034-4050-2024-3-33-40

Ключевые слова: национальная стратегия развития, национальная программа развития, искусственный интеллект, машинное обучение, алгоритмы машинного обучения, прогнозирование.

Аннотация

Цель работы: состоит в анализе и выборе наиболее подходящих алгоритмов машинного обучения для решения задач прогнозирования технического состояния средств радиосвязи.

Метод исследования: алгоритмы линейной и логистической регрессии, деревья решений, случайные леса, градиентный бустинг, метод опорных векторов, K-ближайших соседей и искусственные нейронные сети.

Результаты исследования: В статье представлен анализ существующих зарубежных и отечественной национальных стратегий развития искусственного интеллекта, основные определения, направления и применяемые технологии.

Более подробно рассмотрено одно из направлений искусственного интеллекта — машинное обучение, применяемое для решения различных задач прогнозирования, в том числе прогнозирования технического состояния средств радиосвязи искусственные нейронные сети, являющиеся одним из самых популярных методов машинного обучения, которое, в свою очередь, является одним из направлений искусственного интеллекта, наиболее предпочтительны для решения задач прогнозирования технического состояния средств радиосвязи.

Также в статье подробно представлено пошаговое описание работы алгоритмов, их достоинства и недостатки.

Практическая ценность: новые возможности, связанные с использованием искусственного интеллекта, открывают новые горизонты для развития современных технологий, в том числе на основе применения искусственных нейронных сетей. Прогнозирование технического состояния средств радиосвязи является ключевым элементом управления и эксплуатации радиосистем и позволяет создавать надежные системы связи, способные эффективно функционировать в любых условиях, минимизировать время простоя и оптимизировать процессы обслуживания.

Введение

Анализ существующих зарубежных национальных стратегий развития искусственного интеллекта показывает их взаимное сходство, при этом особое внимание стоит обратить на США, Великобританию и Китай, чьи стратегии имеют четкие тенденции в области национальной безопасности и обороны. Если в 2017 году стран, сформировавших свои национальные стратегии развития искусственного интеллекта, было всего 7, то в 2024 году их количество увеличилось более чем в 5 раз. Учитывая сложившуюся мировую обстановку, Россия не осталась в стороне и уже в 2019 году приняла национальную программу развития технологий искусственного интеллекта Указом Президента Российской Федерации

№ 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» вместе с «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года» (внесены изменения 15 февраля 2024 года).

«Предотвратить развитие искусственного интеллекта, в том числе сверхинтеллекта, который начинает чувствовать, который различает запахи, у него появляются когнитивные возможности, который сам себя развивает. Предотвратить развитие невозможно. А значит, нужно возглавить. Во всяком случае, нужно сделать все для того, чтобы мы могли быть одними из лидеров в этом направлении» — поделился мнением Президент Российской Федерации В. В. Путин.

¹Чихачев Антон Владимирович, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: anton_best@mail333.com

²Будко Павел Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: budko62@mail.ru

³Шмидт Анна Алексеевна, адъюнкт кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: anutikaaa@mail.ru

Искусственный интеллект (далее— ИИ) — 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 обеспечение (в том числе, в котором используются методы машинного обучения), процессы и сервисы по обработке данных и поиску решений. Внедряются такие технологии, как интеллектуального анализа данных, визуализации данных, анализа пространственных данных, рекомендательных систем, систем управления базами данных, больших данных и машинного обучения [1].

Машинное обучение — это область ИИ, которая позволяет системам автоматически обучаться и улучшаться на основе опыта без явного программирования. Алгоритмы машинного обучения анализируют данные, выявляют паттерны и делают прогнозы или принимают решения на основе этих данных. Они могут быть с учителем или без него, с частичным, активным или глубоким обучением, а также обучением с подкреплением [2, 3].

Наиболее часто алгоритмы машинного обучения применяются для анализа данных и прогнозирования. В первом случае используются для анализа больших объемов данных, выявления скрытых закономерностей и трендов, во втором — помогают прогнозировать будущие события на основе исторических, статистических данных.

Основные разновидности алгоритмов машинного обучения

Существует множество алгоритмов машинного обучения, которые используются для решения различных задач прогнозирования. В зависимости от характера данных и типа задачи, некоторые алгоритмы могут работать лучше, чем другие.

К наиболее популярным относятся [4, 5]:

- линейная регрессия — подходит для прогнозирования непрерывных значений и хорошо работает, если существует линейная зависимость между признаками и целевой переменной;
- логистическая регрессия — применяется для классификационных задач при прогнозировании категориальных значений;
- деревья решений — подходят как для регрессии, так и для классификации. Основное преимущество — интерпретируемость результата;

- «случайные леса» — мощные и гибкие алгоритмы, которые могут также использоваться для регрессии и классификации. Они снижают вероятность переобучения за счёт объединения результатов множества деревьев решений;
- градиентный бустинг — используется для повышения точности прогноза путём объединения нескольких слабых моделей в одну сильную;
- метод опорных векторов, также как деревья решений и случайные леса, хорошо работает для задач классификации и регрессии. Эффективен в пространствах с высокими признаковыми измерениями;
- алгоритм К-ближайших соседей — простой и интуитивно понятный алгоритм, используемый для классификации и регрессии, полезен для небольших и среднеразмерных наборов данных;
- искусственные нейронные сети — применяются для решения сложных задач прогнозирования, включая временные ряды, обработку изображений и естественный язык. К ним относятся:
 - глубокие нейронные сети, которые могут находить скрытые зависимости в данных, но требуют больших вычислительных ресурсов и объёмов данных;
 - рекуррентные нейронные сети, которые особенно полезны для анализа временных рядов и последовательностей данных.

Для достижения наилучших результатов часто применяют ансамблирование, технику объединения нескольких моделей для повышения точности прогноза [6].

Важно отметить, что выбор алгоритма во многом зависит от специфики задачи, характеристик данных и доступных ресурсов [7].

Основные этапы, достоинства и недостатки алгоритмов машинного обучения

Рассмотрим пошаговое описание алгоритмов более подробно.

1. **Линейная регрессия** — один из самых простых и широко используемых алгоритмов машинного обучения для прогнозирования непрерывных значений. Основная идея заключается в том, чтобы найти наилучшую прямую, которая минимизирует разницу между предсказанными и фактическими значениями.

Этапы алгоритма линейной регрессии:

- 1) определение задачи — построение модели, которая предсказывает целевую переменную (Y)

- на основании набора данных с признаками (X);
- 2) формирование уравнения прямой — уравнения линейной регрессии;
 - 3) обучение модели — нахождение таких значений, которые минимизируют ошибку предсказания на основе метода наименьших квадратов, который минимизирует сумму квадратов ошибок;
 - 4) решение оптимизационной задачи путём минимизации функции ошибки в виде матричного представления для упрощения вычислений.
 - 5) проверка модели — оценка таких метрик, как коэффициент детерминации, среднеквадратическая ошибка, средняя абсолютная ошибка на тестовых данных;
 - 6) прогнозирование — применение обученной модели для предсказания значений целевой переменной на новых данных.

Достоинства алгоритма линейной регрессии:

- простота и понимание — легко интерпретируется и реализуется;
- быстрота обучения — требует меньше вычислительных ресурсов и времени на обучение по сравнению с более сложными моделями;
- анализ влияния переменных — позволяет оценить влияние каждого независимого признака на зависимую переменную;
- подходит для линейных зависимостей между входными и выходными данными.

Недостатки алгоритма линейной регрессии:

- чувствительность к выбросам — наличие аномалий может существенно исказить результаты;
- линейные предположения — предполагает линейную связь, что может быть не всегда верно.
- ограниченная гибкость — не подходит для моделирования сложных, нелинейных зависимостей.
- мультиколлинеарность — высокая корреляция между независимыми переменными может привести к нестабильным коэффициентам.

2. Логистическая регрессия — алгоритм статистического анализа, использующийся для предсказания вероятности наступления события на основе одного или нескольких признаков. Он чаще всего применяется в задачах бинарной классификации.

Этапы алгоритма логистической регрессии:

- 1) определение задачи — предсказание вероят-

ности того, что целевая переменная (Y) примет значение 1 на основании набора данных с признаками (X);

- 2) формирование модели — вместо линейной функции используется логистическая функция, которая принимает значения от 0 до 1;
- 3) обучение модели — нахождении коэффициентов с использованием максимизации функции правдоподобия;
- 4) оптимизация — получение значений коэффициентов с использованием методов градиентного спуска или специализированных оптимизационных алгоритмов, например, метода Ньютона-Рафсона;
- 5) проверка модели — оценка качества модели, используя метрики, такие как точность, полнота и сравнение предсказанных вероятностей с фактическими значениями для измерения эффекта;
- 6) прогнозирование — применение обученной модели и логистической функции для предсказания вероятности, что $Y = 1$, применение при необходимости порога (например, 0.5) для определения класса.

Достоинства алгоритма логистической регрессии:

- простота и интерпретируемость — коэффициенты модели могут быть интерпретированы как изменения в логарифмическом отношении шансов;
- эффективность при малых выборках — подходит для ограниченного доступа к данным;
- подход для бинарных и многоклассовых задач;
- отсутствие предположения о распределении — не предполагает, что данные имеют нормальное распределение, что делает её более универсальной в некоторых случаях;
- выявление влияния независимых переменных.

Недостатки алгоритма логистической регрессии:

- чувствительность к выбросам — наличие аномалий может существенно исказить результаты;
- линейная зависимость между независимыми переменными и логарифмом шансов, что может быть ограничением в сложных задачах;
- мультиколлинеарность — высокая корреляция между независимыми переменными может привести к нестабильным коэффициентам;
- не подходит для сложных зависимостей;
- проблема несбалансированных классов — в

случае значительной диспропорции между классами (например, много отрицательных и очень мало положительных примеров) модель может иметь низкую точность для меньшего класса.

3. Дерево решений — иерархическая модель, состоящая из узлов (или вершин) и рёбер (или ветвей). Основная идея заключается в рекурсивном разбиении пространства признаков на подпространства, что позволяет сделать предсказание для каждой подгруппы.

Этапы алгоритма дерева решений:

- 1) инициализация корневого узла, который содержит весь набор обучающих данных;
- 2) разбиение данных на основании значений выбранного признака — нахождение лучшего признака для разделения данных, вычисление критериев разбиения, таких как энтропия, прирост информации для классификации, среднеквадратичная ошибка для регрессии;
- 3) рекурсивное разбиение — повторение процесса разбиения для каждого получившегося подузла до тех пор, пока одно из следующих условий не будет достигнуто:
 - все узлы содержат данные одного класса (в случае задачи классификации);
 - узлы не могут быть дальше разбиты (например, потому что максимальная глубина дерева достигнута или минимальное количество примеров в узле слишком маленькое);
 - улучшение после разбиения становится незначительным.
- 4) формирование листовых узлов — каждый конечный узел (лист) содержит предсказание при достижении остановки, например, это может быть класс (в задачах классификации) или среднее значение (в задачах регрессии).

Достоинства алгоритма дерева решений:

- простота и удобство интерпретации;
- отсутствие необходимости в масштабировании данных, что упрощает предварительную обработку;
- работа с разными типами данных, как числовыми, так и категориальными;
- возможность выявления важности признаков;
- не подвержены переобучению на небольших данных.

Недостатки алгоритма дерева решений:

- схожесть к переобучению;
- нестабильность — небольшие изменения в данных могут привести к значительным изменениям в структуре дерева;

- сложность в обобщении — плохая работа на новых, неожиданных данных, особенно если они очень отличаются от обучающей выборки;
- склонность к модельной предвзятости — создание моделей, которые слишком зависят от определённых данных, что может снизить их обобщающую способность;
- может быть неэффективным на больших наборах данных.

4. «Случайный лес» — алгоритм машинного обучения, который использует множество деревьев решений для улучшения точности и устойчивости модели. Основная идея случайного леса заключается в обучении нескольких деревьев решений на разнообразных подмножествах данных и последующем усреднении их предсказаний (в случае регрессии) или голосовании (в случае классификации).

Этапы алгоритма «случайного леса»:

- 1) генерация данных;
- 2) разделение данных на обучение и тестирование, чтобы можно было оценить производительность модели;
- 3) создание модели случайного леса со 100 деревьями и обучение;
- 4) прогнозирование на тестовой выборке;
- 5) оценка модели — точность и матрица ошибок используются для оценки производительности.

Достоинства алгоритма «случайного леса»:

- высокая точность благодаря использованию ансамблевой технологии, которая комбинирует результаты множества деревьев;
- устойчивость к переобучению за счет усреднения результатов нескольких деревьев «случайный лес» менее подвержен переобучению по сравнению с отдельными деревьями решений;
- обработка больших объемов данных с большим количеством признаков, что делает его универсальным инструментом;
- устойчивость к выбросам и шуму в данных, что позволяет получать более надежные результаты;
- выявление важности признаков, что помогает в понимании структуры данных и в выборе переменных для модели.

Недостатки алгоритма «случайного леса»:

- сложность модели по сравнению с простыми алгоритмами, что может затруднить интерпретацию и понимание результатов;
- медлительность при предсказаниях — генерация результатов может занять больше вре-

мени, особенно если количество деревьев велико, что может быть проблемой в задачах с повышенными требованиями к скорости.

- зависимость от гиперпараметров, например, количества деревьев, максимальной глубины и т. д.;
- объем памяти — проблема при работе с устройствами с ограниченными ресурсами.
- проблемы с пропущенными данными — алгоритм не всегда справляется с пропущенными данными так эффективно, как другие модели, и иногда требуется предварительная обработка данных.

5. Градиентный бустинг — алгоритм машинного обучения, который комбинирует несколько слабых моделей (обычно деревьев решений) для создания более сильной модели. Он улучшает модель путем последовательного добавления новых деревьев, которые обучаются на остатках ошибок предыдущих деревьев.

Этапы алгоритма градиентного бустинга:

- 1) генерация данных;
- 2) разделение данных на обучение и тестирование, чтобы можно было оценить производительность модели;
- 3) создание модели градиентного бустинга со 100 деревьями, скоростью обучения и максимальной глубиной деревьев и обучение;
- 4) прогнозирование на тестовой выборке;
- 5) оценка модели — точность и матрица ошибок используются для оценки производительности.

Достоинства алгоритма градиентного бустинга:

- высокая точность;
- устойчивость к переобучению при правильной настройке гиперпараметров;
- работа с разнородными данными, как числовыми, так и категориальными;
- поддержка регуляризации, что помогает контролировать сложность модели и предотвращает переобучение;
- важность признаков, что помогает в интерпретации модели и выборе наилучших переменных.

Недостатки алгоритма градиентного бустинга:

- долгое время обучения;
- сложность параметров;
- вариабельность модели;
- трудность интерпретации;
- проблемы с выбросами данных, что может негативно повлиять на качество предсказаний.

6. Алгоритм метода опорных векторов —

алгоритм машинного обучения, основная идея которого заключается в поиске гиперплоскости, которая максимально разделяет данные на классы.

Этапы алгоритма метода опорных векторов:

- 1) генерация данных;
- 2) разделение данных на обучение и тестирование, чтобы можно было оценить производительность модели;
- 3) создание модели метода опорных векторов с линейным ядром и параметром регуляризации $C = 1.0$ и обучение;
- 4) прогнозирование на тестовой выборке;
- 5) оценка модели — точность и матрица ошибок используются для оценки производительности.

Достоинства алгоритма метода опорных векторов:

- эффективность в высоких измерениях;
- четкое разделение классов — алгоритм находит оптимальную гиперплоскость, которая максимально разделяет классы, что позволяет достигать высокой точности классификации;
- регуляризация — возможность использования параметра регуляризации помогает избежать переобучения и улучшает общую производительность модели;
- поддержка различных функций ядер, например, линейное, полиномиальное, радиально-базисное, что позволяет адаптировать модель для различных типов данных;
- устойчивость к переобучению.

Недостатки алгоритма метода опорных векторов:

- высокие вычислительные затраты;
- сложность выбора параметров;
- проблемы с несбалансированными данными, что требует дополнительных методов обработки данных;
- трудности интерпретации;
- проблемы с шумом и выбросами.

7. Алгоритм K-ближайших соседей — алгоритм машинного обучения, основывающийся на принципе, что объекты, находящиеся близко друг к другу в многомерном пространстве, имеют схожие характеристики.

Этапы алгоритма K-ближайших соседей:

- 1) выбор параметров — определение значения K (количества ближайших соседей, которые будут учитываться при классификации);
- 2) подготовка данных для обучения и тестирования, проведение необходимой предварительной обработки данных, включая нормализацию, если требуется;
- 3) вычисление расстояний для каждого объекта

в тестовом наборе данных до всех объектов в обучающем наборе, используя метрики Евклидова расстояния, Манхэттенского расстояния, косинусного расстояния;

- 4) сортировка и выбор ближайших K соседей;
- 5) присвоение класса каждому из K соседей, применение метода голосования (класс, который наибольшее количество раз представлен среди соседей, становится предсказанным классом) — для задачи классификации; выбор среднего значения (или другого агрегированного значения) выходных переменных K соседей — для задачи регрессии;
- 6) предоставление предсказанного класса или значения для тестируемого объекта.

Достоинства алгоритма K -ближайших соседей:

- простота и легкость реализации;
- отсутствие обучения, что позволяет адаптироваться к новым данным моментально;
- гибкость — использование как для задач классификации, так и для регрессии, что делает его универсальным инструментом;
- непараметрическая природа — алгоритм не делает предположений о распределении данных, что позволяет работать с различными типами данных;
- естественная интерпретация.

Недостатки алгоритма K -ближайших соседей:

- высокие вычислительные затраты;
- чувствительность к выбору K — слишком маленькое K может привести к переобучению, а слишком большое — к недообучению;
- чувствительность к шкале данных;
- проблемы с несбалансированными данными;
- сложность с многомерными данными, что затрудняет поиск ближайших соседей.

8. Искусственные нейронные сети (далее — ИНС) применяются для решения сложных задач прогнозирования, способны выявлять сложные зависимости в данных и эффективно обрабатывать большие объемы информации [8].

Этапы алгоритма ИНС:

- 1) определение задачи прогнозирования;
- 2) сбор данных, которые будут использоваться для обучения модели;
- 3) предобработка данных — очистка, нормализация и стандартизация, кодирование категориальных переменных, разделение данных;
- 4) создание модели — определение архитектуры, количества нейронов, равных числу признаков, количества и размера скрытых слоев, выбор соответствующей активационной функции;

- 5) компиляция модели — определение функции потерь, выбор оптимизатора и метрики для оценки качества модели;
- 6) обучение модели на обучающих данных, передача в неё валидационные данные для мониторинга во время обучения;
- 7) оценка модели на тестовой выборке, чтобы проверить её производительность;
- 8) постобработка результатов — анализ ошибок и визуализация предсказания модели, чтобы понять её поведение и выявить паттерны;
- 9) улучшение модели — на основе проведенного анализа можно внести изменения в архитектуру, гиперпараметры, данные (например, используя технику увеличения данных), чтобы улучшить качество предсказаний;
- 10) развертывание в реальной системе или приложении, чтобы начать использовать для прогноза новых данных;
- 11) мониторинг и обновление.

Достоинства ИНС [7, 8]:

- способность к обучению на больших объемах данных, выявляя сложные зависимости и закономерности, которые могут быть неочевидны при использовании традиционных методов;
- гибкость архитектуры — ИНС подходят для различных типов задач (регрессия, классификация, временные ряды) с использованием разнообразных архитектур (например, многослойные перцептроны, свёрточные и рекуррентные сети);
- устойчивость к шуму;
- выявление сложных и нелинейных связей, что делает их особенно полезными для проблем с высокой размерностью;
- автоматическое извлечение признаков, что уменьшает необходимость в предварительной обработке данных.
- адаптивность к изменениям в данных и их распределению, что позволяет им быть более актуальными в динамичных средах.

Недостатки ИНС [9, 10]:

- необходимость большого объема данных;
- сложность настройки гиперпараметров;
- отсутствие интерпретируемости;
- долговременные вычисления;
- риск переобучения;
- чувствительность к параметрам.

Применимость алгоритмов машинного обучения в задачах прогноза

Прогнозирование технического состояния средств радиосвязи является ключевым элементом

управления и эксплуатации радиосистем. Это позволяет обеспечить надежность связи, минимизировать время простоя и оптимизировать процессы обслуживания [11-13].

Прогнозирование состояния средств радиосвязи является многоаспектной задачей, требующей применения, как традиционных методов, так и современных технологий. Интеграция этих подходов позволит создавать надежные системы связи, способные эффективно функционировать в любых условиях.

К задачам прогнозирования технического состояния средств радиосвязи относятся:

- прогнозирование отказов — определение вероятности и сроков возможных отказов оборудования;
- оценка состояния — определение текущего состояния средств радиосвязи для планирования всех работ;
- оптимизация планирования — работа на основе прогноза для уменьшения затрат на обслуживание и ремонта;
- улучшение надежности — обеспечение надежной работы систем и предотвращение критических инцидентов.

Заключение

На проходившем недавно Международном военно-техническом форуме «Армия-2024» министром обороны Российской Федерации А. Р. Белоусовым было уделено пристальное внимание необходимости совершенствования системы управления вооружени-

ями, военной и специальной техникой (далее — ВВСТ) через внедрение комплексов поддержки принятия решений, в том числе на основе искусственного интеллекта.

Проведенный в работе анализ алгоритмов машинного обучения, как инструментов интеллектуализации процесса управления ВВСТ через процедуры контроля и мониторинга технического состояния позволяет сделать вывод о целесообразности их применимости в отношении наблюдения за средствами радиосвязи в автоматизированных системах (радиосетях):

- на этапе использования по назначению — индивидуальный прогноз;
- по времени продолжительности — краткосрочный прогноз;
- по используемым методам прогноза — метод анализа и прогнозирования рядов данных (временных рядов);
- по используемому математическому аппарату — вероятностный или статистический прогноз (а также их комбинации, например, ИНС).

В случае применения ИНС, математических моделей, их программного или аппаратного воплощения в среде программирования реализуется принцип сбора, анализа и сравнения контролируемых параметров с уже заданными ранее (при обучении). При этом чаще всего для прогнозирования используются многослойные, как правило трехслойные нейронные сети прямого распространения.

Литература

1. Мусаев А. А. Интеллектуальный анализ данных. — СПб.: СПбГТИ(ТУ). — 2018. — 56 с.
2. Воронина В. В., Михеев А. В., Ярушкина Н. Г., Святков К. В. Теория и практика машинного обучения. Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск. 2017. — 290 с.
3. Хенрик Б., Джозеф Р., Марк Ф. Машинное обучение. — СПб.: Питер, 2017. — 336 с.
4. Вьюгин В. В. Математические основы машинного обучения и прогнозирования. — М.: 2013, 2018. — 484 с.
5. Морозова В. И. Прогнозирование методом машинного обучения // Молодой ученый. — 2022. — № 21 (416). — С. 202–204.
6. Аллакин В. В. Анализ методов оценки временных рядов сервером мониторинга информационно-телекоммуникационной сети общего пользования // Техника средств связи. 2021. № 2 (154). С. 60–80.
7. Шелест А. В., Пархоменко К. А. Обзор методов и моделей прогнозирования временных рядов // Компьютерное проектирование и технология производства электронных систем: сборник тезисов 54 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апреля 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, отв. ред. Раднёнок А. Л. — Минск, 2018. — С. 112–113.
8. Пономарева К. А. Применение искусственных нейронных сетей при решении задач прогнозирования // Наука без границ. — 2020. — № 1(41). — С. 42–47.
9. Горева Т. И., Портнягин Н. Н., Пюкке Г. А. Нейросетевые модели диагностики технических систем // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. — 2017. — № 1 (4). — С. 31–43.
10. Хаханов В. И. Применение искусственных нейронных сетей для диагностирования цифровых сетей // Радиоэлектронные и компьютерные системы. — 2017. — № 5 (46). — С. 15–20.
11. Шмидт А. А., Косырев А. В. Анализ научно-методического аппарата диагностики и контроля, мониторинга и прогнозирования технического состояния военной техники связи // Техника средств связи. 2023. № 4 (164). С. 81–92.
12. Будко П. А., Шмидт А. А., Голюнов М. В., Сафиулов Д. М. Прогнозирование технического состояния в системе технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления // IX Межвузовская научно-практическая конференция «Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях». Труды конференции: Сборник материалов. — СПб.: ВАС, 2024. — С. 40–44.
13. Будко П. А., Шмидт А. А., Голюнов М. В., Сафиулов Д. М. Анализ методов прогнозирования технического состояния средств радиосвязи // IX Межвузовская научно-практическая конференция «Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях». Труды конференции: Сборник материалов. — СПб.: ВАС, 2024. — С. 45–49.

APPLICATION OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS TO SOLVE PROBLEMS OF PREDICTING THE TECHNICAL CONDITION OF RADIO COMMUNICATION FACILITIES

Chikhachev A.V.¹, Budko P.A.², Schmidt A.A.³

Keywords: national development strategy, national development program, artificial intelligence, machine learning, machine learning algorithms, forecasting.

Abstract

The purpose of the work is to analyze and select the most suitable machine learning algorithms for solving the problems of predicting the technical condition of radio communication facilities.

Research method: linear and logistic regression algorithms, decision trees, random forests, gradient boosting, support vector method, K-nearest neighbors, and artificial neural networks.

Research results: The article presents an analysis of existing foreign and domestic national strategies for the development of artificial intelligence, the main definitions, directions and technologies used.

One of the areas of artificial intelligence is considered in more detail — machine learning, which is used to solve various forecasting problems, including predicting the technical condition of radio communication facilities. Artificial neural networks, which are one of the most popular methods of machine learning, which, in turn, is one of the areas of artificial intelligence, the most preferable for solving the problems of predicting the technical condition of radio communication facilities.

The article also provides a detailed step-by-step description of the algorithms, their advantages and disadvantages.

Practical value: new opportunities associated with the use of artificial intelligence open up new horizons for the development of modern technologies, including those based on the use of artificial neural networks. Predicting the technical condition of radio communication equipment is a key element in the management and operation of radio systems and allows you to create reliable communication systems that can function effectively in any conditions, minimize downtime and optimize maintenance processes.

References

1. Musaev A. A. Intellektual'nyj analiz dannyh. – SPb.: SPbGTI(TU). – 2018. – 56 s.
2. Voronina V. V., Miheev A. V., Jarushkina N. G., Svjatov K. V. Teorija i praktika mashinnogo obucheniya. Ul'janovskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, Ul'janovsk. 2017. – 290 s.
3. Henrik B., Dzhozef R., Mark F. Mashinnoe obuchenie. – SPb.: Piter, 2017. – 336 s.
4. V'jugin V. V. Matematicheskie osnovy mashinnogo obucheniya i prognozirovanija. – M.: 2013, 2018. – 484 s.
5. Morozova V. I. Prognozirovanie metodom mashinnogo obucheniya // Molodoj učenij. – 2022. – № 21 (416). – S. 202–204.
6. Allakin V. V. Analiz metodov ocenki vremennyh rjadov serverom monitoringa informacionno-telekommunikacionnoj seti obshhego pol'zovanija // Tehnika sredstv svjazi. 2021. № 2 (154). S. 60–80.
7. Shelest A. V., Parhomenko K. A. Obzor metodov i modelej prognozirovanija vremennyh rjadov // Komp'juternoe proektirovanie i tehnologija proizvodstva jelektronnyh sistem: sbornik tezisov 54 nauchnoj konferencii aspirantov, magistrantov i studentov, Minsk, 23–27 aprlja 2018 g. / Belorusskij gosudarstvennyj universitet informatiki i radiojelektroniki, otv. red. Radnjonok A. L. – Minsk, 2018. – S. 112–113.
8. Ponomareva K. A. Primenenie iskusstvennyh nejronnyh setej pri reshenii zadach prognozirovanija // Nauka bez granic. – 2020. – № 1(41). – S. 42–47.
9. Goreva T. I., Portnjagin N. N., Pjukke G. A. Nejrosetevye modeli diagnostiki tehničeskijh sistem // Vestnik KRAUNC. Fiz-mat. nauki. – 2017. – № 1 (4). – S. 31–43.
10. Hahanov V. I. Primenenie iskusstvennyh nejronnyh setej dlja diagnostirovanija cifrovych setej // Radiojelektronnye i komp'juternye sistemy. – 2017. – № 5 (46). – S. 15–20.
11. Shmidt A. A., Kosyrev A. V. Analiz nauchno-metodičeskogo apparata diagnostiki i kontrolja, monitoringa i prognozirovanija tehničeskogo sostojanija voennoj tehniki svjazi // Tehnika sredstv svjazi. 2023. № 4 (164). S. 81–92.
12. Budko P. A., Shmidt A. A., Goljunov M. V., Safiulov D. M. Prognozirovanie tehničeskogo sostojanija v sisteme tehničeskogo obespečenija svjazi i avtomatizirovannyh sistem upravlenija // IX Mezhvuzovskaja nauchno-praktičeskaja konferencija «Problemy tehničeskogo obespečenija vojsk v sovremennyh uslovijah». Trudy konferencii: Sbornik materialov. – SPb.: VAS, 2024. – S. 40–44.
13. Budko P. A., Shmidt A. A., Goljunov M. V., Safiulov D. M. Analiz metodov prognozirovanija tehničeskogo sostojanija sredstv radiosvjazi // IX Mezhvuzovskaja nauchno-praktičeskaja konferencija «Problemy tehničeskogo obespečenija vojsk v sovremennyh uslovijah». Trudy konferencii: Sbornik materialov. – SPb.: VAS, 2024. – S. 45–49.

¹Anton V. Chikhachev, Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Technical Support of Communications and Automation of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: anton_best@mail333.com

²Pavel A. Budko, Dr.Sc., Professor, Professor of the Department of Technical Support of Communications and Automation of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: budko62@mail.ru

³Anna A. Schmidt, Adjunct of the Department of Technical Support of Communications and Automation, Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: anutikaaa@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ В ЕДИНОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Николаев В.В.¹

DOI: 10.24682/3034-4050-2024-3-41-55

Ключевые слова: оптимизация распределения ресурсов, имитационное моделирование, генетический алгоритм, регрессионный анализ, план распределения информационных ресурсов, информационный обмен, AnyLogic.

Аннотация

Цель работы: разработка и экспериментальная оценка предложенного подхода к оптимизации распределения информационных ресурсов, из которых состоит единое информационное пространство, по местам возможного хранения с учетом требований по своевременности, устойчивости и безопасности.

Метод исследования: использованы концептуальный, аналитический и имитационный подходы, которые в совокупности позволяют рассчитать вероятность того, что среднее время реакции системы на запросы пользователей не больше допустимого, коэффициент готовности единого информационного пространства и вероятность защищенности единого информационного пространства от несанкционированного доступа к информационным ресурсам за заданный период времени.

Результаты: разработана модель обмена информационными ресурсами и представлено доказательство адекватности модели, полученное статистическими методами. Создана методика оптимизации плана распределения информационных ресурсов, которая позволяет, во-первых, используя генетический алгоритм сформировать множество предпочтительных планов распределения информационных ресурсов, а, во-вторых, при помощи имитационного компонента модели выбрать оптимальный план, удовлетворяющий заданным требованиям. Использование этих научных результатов в прикладной области позволило сформулировать прикладной результат, обладающий практической значимостью, а именно научно-технические предложения по реализации разработанных модели и методики. В заключении приводится экспериментальная оценка предложенного подхода, доказывающая его эффективность.

Научная новизна: полученный результат позволяет осуществлять оценку показателей единого информационного пространства, а также поиск оптимального плана распределения информационных ресурсов как на этапе проектирования, так и на этапе реконфигурации системы.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в разработке технико-прикладного инструментария, позволяющего оптимально распределять информационные ресурсы единого информационного пространства и повышающего такие показатели, как вероятность того, что среднее время реакции системы на запросы пользователей не больше допустимого, коэффициент готовности единого информационного пространства и вероятность защищенности единого информационного пространства от несанкционированного доступа к информационным ресурсам за заданный период времени.

Введение

На сегодняшний день военно-политическую обстановку вокруг Российской Федерации можно охарактеризовать как сложную, изменчивую и напряженную. Ведущие страны мира стараются оказывать давление на нашу страну во всех областях, ведут санкционное сдерживание и препятствуют реализации политики нашего государства.

В связи с этим ключевым фактором для достижения превосходства во всех сферах является информация, рассматриваемая, с одной стороны, как исходные данные для принятия управленче-

ских решений, а с другой стороны – используемая для осуществления кибервоздействий на инфраструктурные объекты и систему управления организации.

Система управления является важнейшим элементом поддержания организации на требуемом уровне готовности к решению задач, а ее фундаментальной составляющей является автоматизированная система управления, которая формируется в настоящее время путем объединения существующих и разрабатываемых локальных автоматизированных систем (ЛАС) в единое

¹Николаев Владимир Викторович, преподаватель кафедры Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: fortune-rus@yandex.ru

информационное поле. При этом объединение ЛАС подразумевает их взаимодействие, которое возможно только при условии совместимости баз данных при их интеграции на объектах автоматизации с целью создания единого информационного пространства (ЕИП) организации.

Целью настоящей работы является разработка и экспериментальная оценка предложенного подхода к оптимизации распределения информационных ресурсов (ИР), из которых состоит ЕИП, по местам возможного хранения с учетом требований по своевременности, устойчивости и безопасности.

Классификация ИР ЕИП

Согласно Концепции развития ЕИП до 2027 года в широком смысле ЕИП можно определить, как упорядоченную совокупность всей информации, имеющейся в организации, а в узком смысле — как совокупность ИР, разработанных и упорядоченных по единым правилам формирования, хранения и распространения [1, 2].

В ЕИП интегрируются различные ИР. Исходя из их многообразия, можно предложить классификацию ИР, представленную на рис. 1.

Известные подходы к рациональному использованию ИР, как правило, не имеют количественного обоснования и не связаны с необходимостью удовлетворять те или иные критерии [3]. Поэтому в настоящей статье будет предложен подход к оптимальному распределению ИР (РИР) в ЕИП, который направлен на удовлетворение основных требований, предъявляемых к ЕИП. К числу таких требований относятся требования по своевременности, устойчивости и безопасности функционирования ЕИП.

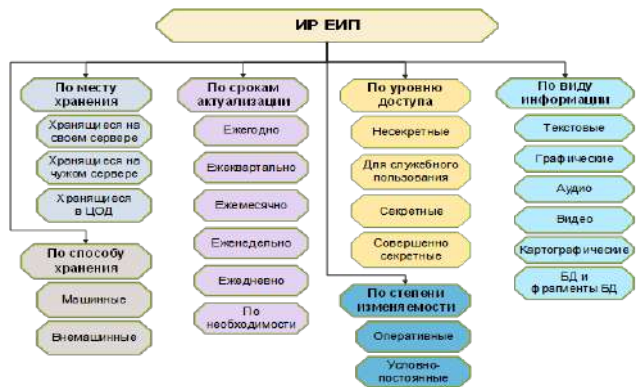


Рис. 1. Классификация ИР

Распределение ИР в ЕИП

Вернемся к рисунку 1 и рассмотрим классификацию «по месту хранения» [4]. Она подразумевает под собой возможность совмещения

двух подходов к хранению информации — централизованного и децентрализованного. Сравнение этих подходов показывает, что ни один из них в отдельности не является оптимальным. Поэтому целесообразным представляется применение смешанного способа хранения ИР, вариант которого представлен на рисунке 2, где узел хранения (УХ) 1 — это стационарный центр обработки данных (ЦОД), УХ 2 — мобильный ЦОД, а остальные УХ — файловые сервера пользователей ЕИП [5].



Рис. 2. Смешанный способ хранения ИР в ЕИП

В связи с этим важной задачей для эффективного функционирования ЕИП является задача оптимального РИР по УХ. Для решения данной задачи должностными лицами организации, ответственной за ведение фонда ИР, формируется план РИР (ПРИР). Структура плана изображена на рисунке 3.

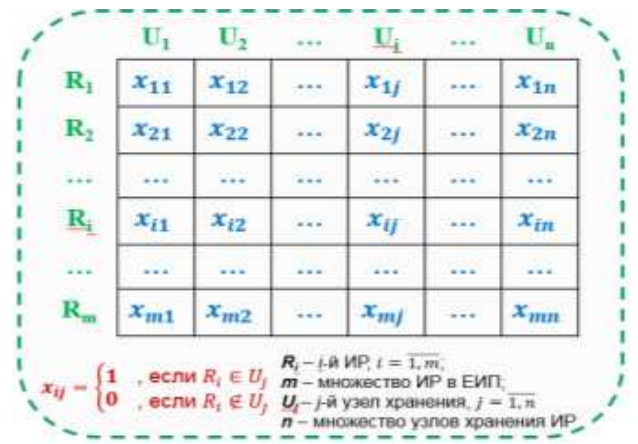


Рис. 3. План распределения ИР в ЕИП

Таким образом, мы подходим к проблеме РИР по УХ, а именно такого размещения, чтобы оно было оптимальным с точки зрения обеспечения показателей своевременности, устойчивости и безопасности ЕИП.

Постановка задачи

Исходные данные:

1. Требования, предъявляемые к ЕИП по своевременности, устойчивости и безопасности.
2. $G(V, H)$ — сетевая структура ЕИП.
3. $U = \{u_j\}$ — множество УХ ЕИП, $j=(1', n)$ (n — количество УХ в ЕИП).
4. $C = \|c_{jl}\|$ — матрица коэффициентов пропускной способности составного канала связи между узлами u_j и u_l .
5. $c_{\text{звс}}$ — пропускная способность каналов связи внутри узла.
6. $c_{\text{серв}}$ — скорость обработки информации в сервере.
7. λ — интенсивность отказа УХ.
8. μ — интенсивность восстановления УХ.
9. $P = \{p_1, p_2, p_3\}$ — вероятности несанкционированного доступа (НСД) к серверу информационных ресурсов (СИР), центру обработки данных стационарному (ЦОДст) и центру обработки данных мобильному (ЦОДм).
10. $PR = \|PR_{li}\|$ — вероятность формирования запросов с узла U_l к ИР R_i .
11. v_o — средний объем запроса на доступ к ИР (служебного запроса сервера к другому серверу).
12. $R = \{r_i\}$ — множество всех ИР, $i = (1', m)$ (m — количество различных ИР в ЕИП).
13. $V = \{v_i\}$ — множество объемов всех ИР.
14. $A = \{\lambda_j\}$ — множество интенсивностей запросов к ИР.
15. $X_d = \{x_{ij}\}$ — действующий на текущий момент ПРИР.

Переменные: ПРИР $X = \|x_{ij}\|$.

Допущения и ограничения:

$\sum_{i=1}^m \hat{x}_{ij} \geq 1$ — на каждом узле должен содержаться хотя бы один ИР;

$\sum_{j=1}^n x_{ij} \geq 1$ — все ИР должны быть гарантированно распределены.

Требуется разработать:

1. Модель обмена ИР в ЕИП, сочетающая централизованный и децентрализованный способ их распределения, которая позволяет рассчитать показатели эффективности ЕИП:

$$M(\text{ЕИП}) = \langle V_{\text{исх.дан}} \rangle \quad (1)$$

где $P_{\text{св}}$ — показатель своевременности, K_r — показатель устойчивости, $P_{\text{защ}}$ — показатель безопасности.

2. Методику оптимизации РИР в ЕИП, учитывающую критерии по своевременности, устойчивости и безопасности, которая обеспечивает оптимальное РИР по узлам ЕИП:

$$Met = \langle \{Alg_l\}, \{Cr_w\} \rangle, \text{ чтобы } \begin{cases} P_{\text{св}} \rightarrow \max \\ K_r \geq K_r^{\text{доп}} \\ P_{\text{защ}} \geq P_{\text{защ}}^{\text{доп}} \end{cases}, \quad (2)$$

где $\{Alg_l\}$ — совокупность алгоритмов выполнения отдельных этапов методики, на которых с помощью генетического алгоритма и имитационной модели происходит оптимальное РИР; $\{Cr_w\}$ — критерии эффективности ЕИП.

3. Научно-технические предложения по реализации и применению модели обмена ИР в ЕИП и методики оптимизации РИР в ЕИП:

$$\text{НТП} = \langle S_{\text{эф}}, \{Actions\} \rangle \quad (3)$$

где $S_{\text{эф}}$ — предложения по разработке системы планирования РИР в ЕИП; $\{Actions\}$ — предложения по применению системы планирования РИР в ЕИП.

Концептуальная модель обмена ИР в ЕИП

Рассмотрим инфотелекоммуникационная сеть (ИТКС). ИТКС представляет собой сложную систему, соединяющую множество узлов, каждый из которых имеет локальную вычислительную сеть (ЛВС). Эти локальные сети объединяют пользователей ЕИП, предоставляя им доступ к сети и ее ресурсам через выделенные каналы связи. Узлы ИТКС могут быть расположены по-разному, образуя произвольную топологию сети, вариант которой представлен на рисунке 4. Топология может включать звездообразные, кольцевые и сетчатые структуры, либо их комбинации. Эта гибкость позволяет сети адаптироваться к различным требованиям по масштабируемости и отказоустойчивости. В каждом узле сети организованы ЛВС, которые служат для объединения пользователей и различных устройств. ЛВС могут включать в себя не только стационарные компьютеры, но и мобильные устройства, серверы и специализированные системы, такие как ЛАС (локальные автоматизированные системы). Пользователи ЛВС получают доступ к ЕИП посредством каналов связи, которые могут быть проводными (Ethernet, оптоволокно) или беспроводными (Wi-Fi, мобильные сети). Каждый канал связи обеспечивает безопасный и надежный обмен данными между пользователями и другими узлами сети. Пользователями ЕИП могут выступать различные гетерогенные устройства, в том числе автоматизированные системы управления. Информационные ресурсы распределены по узлам ЕИП, что позволяет эффективнее использовать вычислительные и сетевые ресурсы [6].

Структура узлов включает следующие компоненты:

- сервер информационных ресурсов (СИР);
- сервер метаданных (СМД);
- сервер управления маршрутизацией (СУМ);
- центр обработки данных, который может быть стационарным (ЦОДст) или мобильным (ЦОДм).

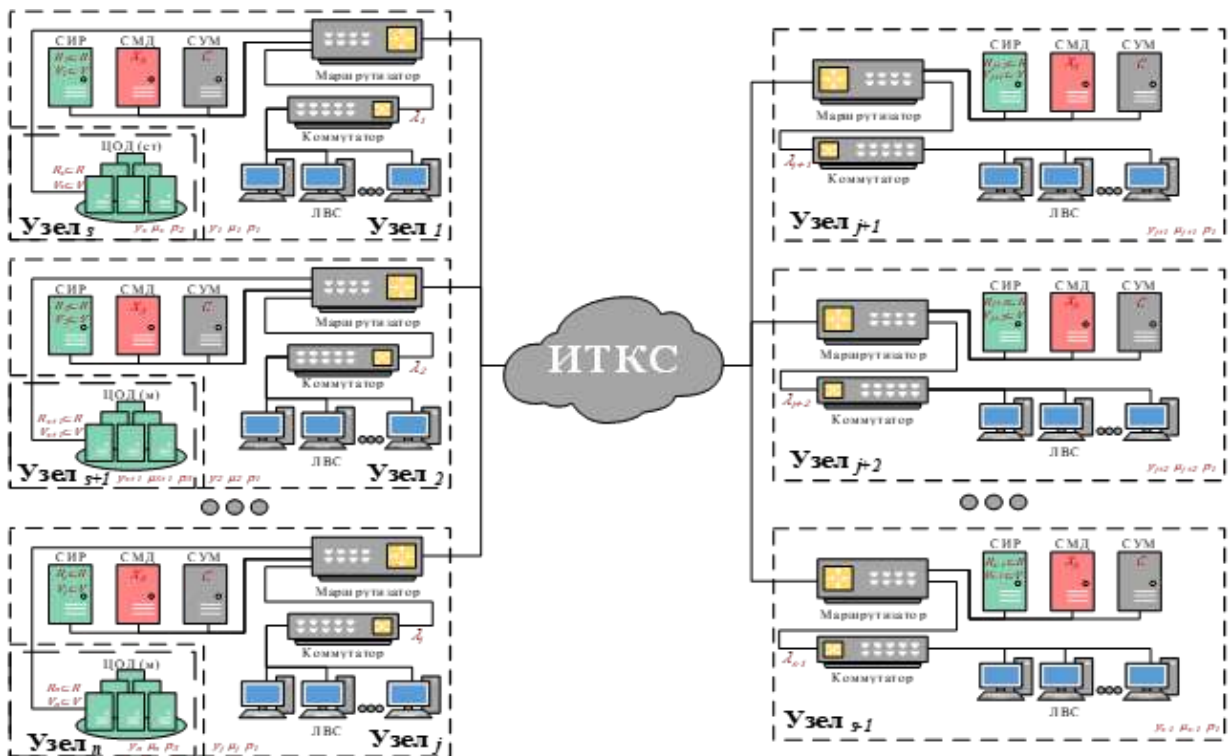


Рис. 4. Детализированная структурная модель обмена IP в ЕИП

СИР осуществляет хранение IP. СМД содержит ПРИР по узлам ЕИП. СУМ обеспечивает взаимодействие пользователей с ЕИП и выполняет следующие основные задачи:

- обработка входящих запросов от пользователей;
- определение узлов ЕИП, ответственных за обработку конкретных запросов пользователей;
- отправка запроса на выбранный узел;
- получение IP от узлов в ответ на запросы пользователей;
- доставка IP пользователю, инициировавшему запрос.

Такая архитектура позволяет эффективно управлять распределением и маршрутизацией запросов, обеспечивая оптимальное взаимодействие пользователей с ресурсами ЕИП.

Каждый запрос нацелен на доступ к определенному IP. Алгоритм прохождения пользовательского запроса представлен на рисунке 5.

Внесем некоторые упрощающие допущения [7]. В нашей СеМО будем предполагать следующие условия:

1. Отсутствие отказов: мы предполагаем, что ни один из компонентов системы не выходит из строя, обеспечивая стабильную и бесперебойную работу системы.
2. Нет приоритизации трафика: все запросы обрабатываются в порядке их поступления, без выделения приоритетов для различных типов запросов.
3. Диспетчеризация типа First In, First Out (FIFO): запросы обрабатываются по принципу очереди — первым поступил, первым обслужен.
4. Отсутствие проблем столкновений и сегментации сообщений: мы учитываем, что используемые протоколы связи эффективно минимизируют вероятность возникновения коллизий и иных проблем при передаче данных.

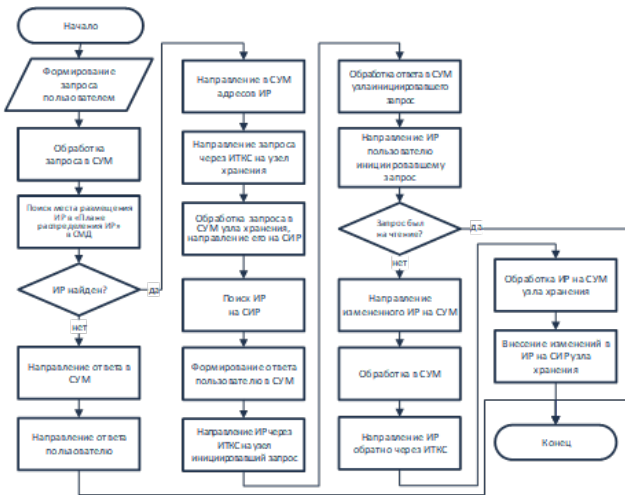


Рис. 5. Алгоритм прохождения пользовательского запроса

Рассмотрим СеМО, в которую поступает пуассоновский поток заявок. Это означает, что интервал времени между прибытием заявок распределен по экспоненциальному закону с плотностью вероятности $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$, где λ — интенсивность потока заявок, определяющая среднее количество заявок, поступающих в си-

стему за единицу времени.

Применение пуассоновского потока заявок обусловлено его способностью эффективно моделировать различные реальные процессы. В частности, формирование запросов пользователями в информационных системах часто соответствует пуассоновскому процессу с высокой степенью точности. Это обусловлено случайным характером поступления запросов и независимостью каждого поступления от предыдущих. Более того, пуассоновский поток заявок существенно упрощает математическое моделирование и аналитическое решение задач СМО, позволяет относительно легко вычислять такие характеристики системы, как среднее время ожидания, среднее число заявок в системе, вероятность отказа и другие параметры эффективности [8].

Эти допущения помогут упростить нашу модель и сосредоточиться на ключевых аспектах функционирования системы без учета множества вариативных и зачастую маловероятных факторов, что позволит более четко понять структуру и работу ЕИП.

Описанную модель можно представить в виде СеМО, приведенной на рисунке 6 [9].

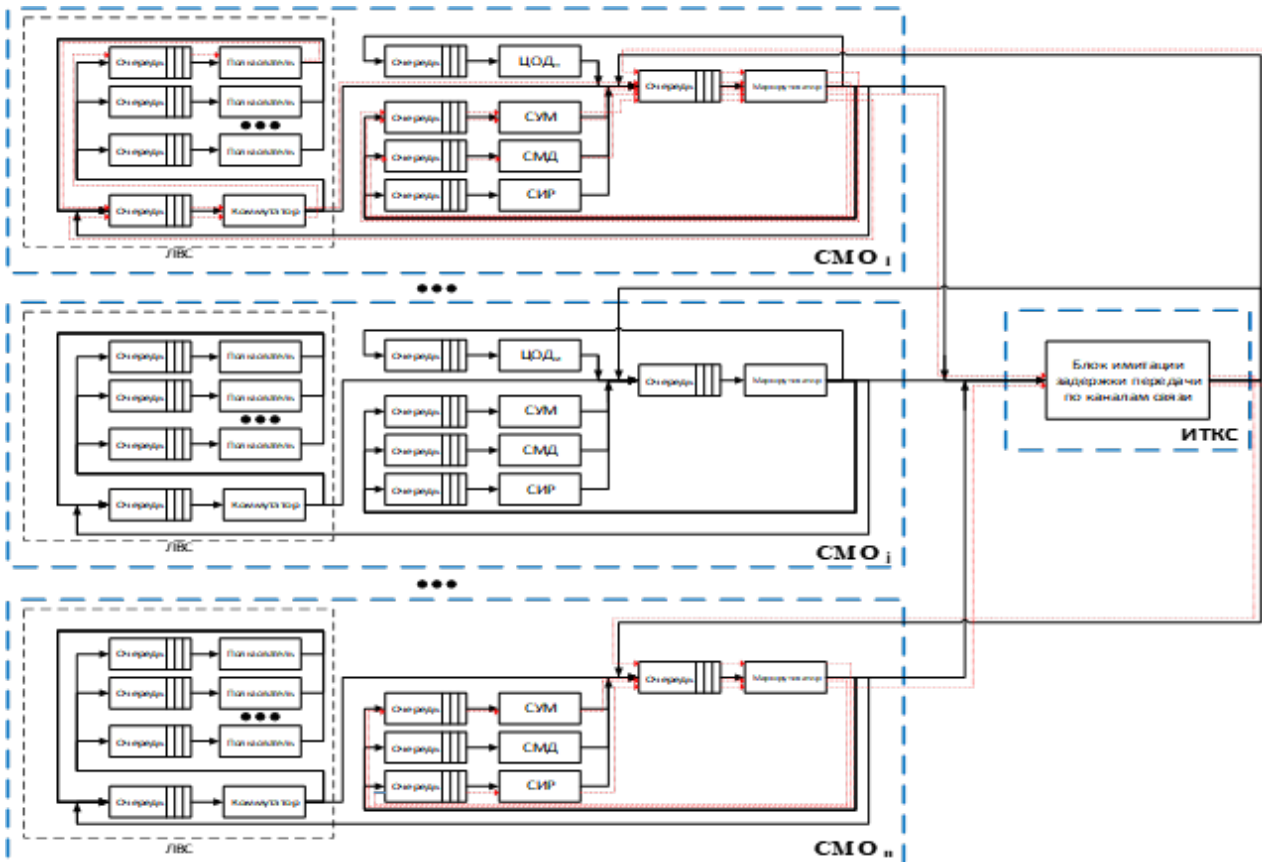


Рис. 6. Модель обмена ИР в ЕИП в терминах теории массового обслуживания

Время ТР реакции системы на запросы пользователей вычисляется по формуле:

$$TR = (\sum_{i=1}^n \lambda_i * TR_i) / \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (8)$$

Для определения времени выполнения запросов с узла U_i необходимо учитывать вероятности формирования запроса с узла U_i на другие узлы:

$$PQ_{ik} = \sum_{i=1}^m PR_{li} * x_{ik}, \quad (9)$$

где PR_{li} — вероятность формирования запросов с узла U_i к ИР R_i , а x_{ik} — элемент матрицы ПРИР в ЕИП ($x_{ik} = 1$, если ИР R_i находится на узле U_k , иначе $x_{ik} = 0$).

Время ожидания обслуживания заявок с γ входными потоками и диспетчеризацией «первый вошел первый вышел» и при отсутствии приоритетов вычисляется по следующей формуле:

$$t_0 = (\sum_{i=1}^{\gamma} \lambda_i x_i^2 / (2(1 - \sum_{i=1}^{\gamma} \lambda_i \omega_i))) \quad (10)$$

где λ_i — интенсивность i -го потока заявок; x_i^2 — второй момент обслуживания заявок; ω_i — среднее время обслуживания заявок.

В нашем случае поток заявок один, поэтому приведенную формулу можно упростить до следующего вида:

$$t_0 = (\lambda_x^2) / (2(1 - \lambda\omega)) \quad (11)$$

Определим среднее время обслуживания запросов для нескольких случаев:

- среднее время обслуживания запросов в каналах внутри узла:

$$W_{лвс}^{запр} = v_0 / c_{лвс}, \quad (12)$$

- среднее время обслуживания запросов на серверах (в ЦОД):

$$W_{серв}^{запр} = v_0 / c_{серв}, \quad (13)$$

- среднее время обслуживания запросов при передаче через ИТКС:

$$W_{иткс}^{запр} = v_0 c_{lk}, \quad (14)$$

где v_0 — средний объем запроса на доступ к ИР (служебного запроса к серверу); $c_{лвс}$ — скорость передачи информации внутри узла; $c_{серв}$ — скорость обработки информации на серверах; c_{lk} — коэффициент пропускной способности составного канала при передаче информации через ИТКС.

Определим среднее время обслуживания

ИР для нескольких случаев:

- среднее время обслуживания ИР в каналах внутри узла:

$$W_{лвс}^{ир} = v_i / c_{лвс}, \quad (15)$$

- среднее время обслуживания ИР на серверах (в ЦОД):

$$W_{серв}^{ир} = v_i / c_{серв}, \quad (16)$$

- среднее время обслуживания ИР при передаче через ИТКС:

$$W_{иткс}^{ир} = v_i c_{lk}, \quad (17)$$

где v_i — объем ИР R_i .

При экспоненциальном законе распределения вторые моменты времени обслуживания равны $x^2 = 2\omega^2$, а при постоянном времени обслуживания $x^2 = \omega^2$. Время передачи запроса будем считать постоянным, в то время как длительность передачи данных, возвращаемых запросом, распределено по экспоненциальному закону. Тогда временные характеристики определим следующим образом:

$$ТОК_{1}^{ком} = ТОК_{1}^{м} = ТОК_{2}^{м} = ТОК_{3}^{м} = ТОК_{4}^{м} = ТОК_{5}^{м} = ТОК_{лвс}^{запр} = \lambda_3 W_{лвс}^{запр 2} / \quad (18)$$

$$ТОК_{иткс}^{иткс} = ТОК_{иткс}^{запр} = (\lambda_3 W_{иткс}^{запр 2}) / \quad (19)$$

$$ТОК_{6}^{м} = ТОК_{7}^{м} = ТОК_{8}^{м} = ТОК_{2}^{ком} = ТОК_{лвс}^{ир} = \lambda_3 2 W_{лвс}^{ир 2} / \quad (20)$$

$$ТОК_{иткс}^{иткс} = ТОК_{иткс}^{ир} = \lambda_3 2 W_{иткс}^{ир 2} / \quad (21)$$

$$ТОП_{1}^{сум} = ТОП_{смл} = ТОП_{2}^{сум} = ТОП_{3}^{сум} = ТОП_{серв}^{запр} = \lambda_3 W_{серв}^{запр 2} / \quad (22)$$

$$ТОП_{сир}^{сум} = ТОП_{пол} = ТОП_{4}^{сум} = ТОП_{5}^{сум} = ТОП_{серв}^{ир} = \lambda_3 2 W_{серв}^{ир 2} / \quad (23)$$

$$ТПО_{1}^{ком} = ТПО_{1}^{м} = ТПО_{2}^{м} = ТПО_{3}^{м} = ТПО_{4}^{м} = ТПО_{5}^{м} = W_{лвс}^{запр} \quad (24)$$

$$ТПО_{иткс}^{иткс} = W_{иткс}^{запр} \quad (25)$$

$$ТПО_{6}^{м} = ТПО_{7}^{м} = ТПО_{8}^{м} = ТПО_{2}^{ком} = W_{лвс}^{ир} \quad (26)$$

$$ТПО_{иткс}^{иткс} = W_{иткс}^{ир} \quad (27)$$

$$ТОБ_{1}^{сум} = ТОБ_{смл} = ТОБ_{2}^{сум} = ТОБ_{3}^{сум} = ТОБ_{серв}^{сир} = ТОБ_{пол} = W_{серв}^{запр} \quad (28)$$

$$ТОБ_{4}^{сум} = ТОБ_{5}^{сум} = W_{серв}^{ир} \quad (29)$$

Таким образом выражение расчета времени ТР_{lk} выполнения запроса из узла U_i на узел U_k принимает следующий вид:

$$TR_{lk} = 6ТОК_{лвс}^{запр} + 4ТОК_{лвс}^{ир} + ТОК_{иткс}^{запр} + ТОК_{иткс}^{ир} + 4ТОП_{серв}^{запр} + 4ТОП_{серв}^{ир} + 6W_{лвс}^{запр} + W_{иткс}^{запр} + 4W_{лвс}^{ир} + W_{иткс}^{ир} + 6W_{серв}^{запр} + 2W_{серв}^{ир} \quad (30)$$

Под безопасностью ЕИП понимается свойство, характеризующее его способность противостоять несанкционированному получению доступа к ИР. Показателем безопасности является вероятность защищенности ЕИП от несанкционированного доступа к ИР.

рованного доступа (НСД) к ИР за заданный период времени $T_{\text{зад}} (P_{\text{защ}}(T_{\text{зад}}))$. Он рассчитывается по следующим формулам:

$$P_{\text{защ}} = 1 - P_{\text{НСД}}, \quad (31)$$

где $P_{\text{НСД}}$ — вероятность совершения НСД в ЕИП.

$$P_{\text{НСД}} = \min_{1 \leq i \leq n} p_i^{\text{НСД}}, \quad (32)$$

где $p_i^{\text{НСД}}$ — вероятность совершения НСД к i -му ИР, учитывающая наличие дубликатов ИР на других УХ, N — количество ИР в ЕИП.

$$p_i^{\text{НСД}} = 1 - \prod_{k \in [1, n]} |1 - p_{\text{сп}}^{\text{НСД}} \prod_{l \in [1, i+k]} (1 - p_{\text{сп}}^{\text{НСД}}) \prod_{l \in [i+k+1, n]} (1 - p_{\text{сп}}^{\text{НСД}})|. \quad (33)$$

где $p_{\text{СИР}}^{\text{НСД}}$ — вероятность НСД к СИР, $p_{\text{ЦОДм}}^{\text{НСД}}$ — вероятность НСД к мобильному ЦОД, $p_{\text{ЦОДст}}^{\text{НСД}}$ — вероятность НСД к стационарному ЦОД, n_1 — количество СИР, n_2 — количество мобильных ЦОД, n_3 — количество стационарных ЦОД, n — количество УХ, $n = n_1 + n_2 + n_3$.

Под устойчивостью ЕИП будем понимать способность ЕИП в каждый момент времени обеспечить доступ должностного лица к требуемому ИР. Показателем этого свойства может выступать коэффициент готовности ЕИП $K_{\text{г}}^{\text{ЕИП}}$. Данный показатель является комплексным, в него закладываются как надежностные характеристики оборудования узла хранения, так и его живучесть.

В целом, чем больше мы имеем размещенных на узлах дубликатов, тем больше вероятность того, что должностное лицо, запросившее ИР, получит его в заданный интервал времени. Такую зависимость можно описать графом возможных состояний ЕИП, представленным на рис. 7:

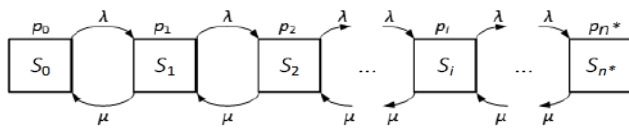


Рис. 7. Граф возможных состояний ЕИП для каждого из ИР

Состояние S_0 — когда все дубликаты ИР доступны, S_1 — когда один из дубликатов ИР не доступен, S_2 — когда два из дубликатов ИР не доступны и т. д.

Таким образом коэффициент готовности можно определить следующими выражениями:

$$K_{\text{г}}^{\text{ЕИП}} = \sum_{i=1}^n K_{\text{г}i} / n, \quad (34)$$

где $K_{\text{г}i}$ — коэффициент готовности для i -го ИР; n — количество узлов, на которых размещен i -й ИР:

$$n = \sum_{k=1}^n x_{ik} \quad (35)$$

Коэффициент готовности для i -го ИР вычисляется как сумма вероятностей всех состояний системы, кроме состояния «недоступны все узлы, хранящие ИР».

$$K_{\text{г}i} = \sum_{s=0}^{n-1} p_s \quad (36)$$

Данные вероятности рассчитываются путем решения системы линейных уравнений, которые составляются для ЕИП, представленного в виде графа-схемы гибели-размножения.

$$\begin{cases} -\lambda p_0 + \mu p_1 = 0 \\ \lambda p_0 - (\lambda + \mu) p_1 + 2\mu p_2 = 0 \\ \dots \\ \lambda p_{s-1} - (\lambda + s\mu) p_s + (s+1)\mu p_{s+1} = 0 \\ \dots \\ \lambda p_{n-2} - (\lambda + (n-1)\mu) p_{n-1} + n\mu p_n = 0 \\ \sum_{s=0}^n p_s = 1 \end{cases} \quad (37)$$

где λ — интенсивность перехода узла, хранящего ИР, из доступного состояния в недоступное; μ — интенсивность восстановления узла; p_0 — вероятность того, что все узлы хранящие ИР, доступны; p_s — вероятность того, что s узлов, хранящих ИР, недоступны; p_n — вероятность того, что все узлы, хранящие ИР, недоступны.

Статистическая оценка адекватности модели обмена ИР в ЕИП

Чтобы проверить адекватность модели обмена ИР в ЕИП было принято решение воспользоваться статистическими методами, а именно построить уравнение регрессии [13] и оценить его при помощи критерия Фишера. Для этого проанализированы результаты ряда экспериментов, проведенных на имитационной модели (выходной параметр y — среднее время реакции системы). Эксперименты проводились для следующей конфигурации:

- средняя интенсивность запросов в сутки: $\lambda \in [10; 100]$ (фактор z_1);
- количество узлов: $n \in [10; 33]$ (фактор z_2);
- количество информационных ресурсов: $m \in [1000; 10000]$ (фактор z_3);
- время моделирования: 30 суток.

Требуется определить степень влияния параметров z_1, z_2, z_3 на значение выходной переменной, для чего были поставлены эксперименты по плану полного факторного эксперимента (ПФЭ) $2^k, k = 3$ (табл. 1), число повторений каждого эксперимента — 3, т. е. значения выходных параметров y_1, y_2, y_3 .

Работу следует выполнять по следующей схеме:

- 1) Кодировются переменные.
- 2) Достраиваются матрицы планирования в кодированных переменных с учетом парных взаимодействий и дополняются столбцом средних значений отклика.
- 3) Вычисляются коэффициенты уравнения регрессии.
- 4) Проверяются вычисленные коэффициенты на значимость, предварительно определяя дисперсию воспроизводимости, и получается уравнение регрессии в кодированных переменных.
- 5) Проверяется полученное уравнение на адекватность.

Таблица 1.

Исходная матрица планирования ПФЭ 2³

Номер опыта	Факторы			Результаты		
	z1	z2	z3	y1	y2	y3
1	+	+	+	14,8	16,8	12,8
2	-	+	+	17,2	14,0	15,6
3	+	-	+	24,6	18,0	18,6
4	-	-	+	11,6	11,6	11,4
5	+	+	-	37,6	34,0	30,4
6	-	+	-	16,8	16,8	12,0
7	+	-	-	23,6	14,0	18,8
8	-	-	-	21,0	15,6	16,2

В результате было получено уравнение регрессии в кодированных переменных:

$$y = 18,49 + 3,51s_1 + 1,41s_2 - 2,91s_3 - 1,49s_{13} - 1,79s_{23} - 3,41s_{123} \quad (38)$$

Сравнивая табличное значение критерия Фишера с расчетным, был сделан вывод об адекватности уравнения регрессии, и, следовательно, об адекватности модели.

Методика оптимизации ПРИР в ЕИП с учетом критериев своевременности, устойчивости и безопасности

Предлагаемая методика предназначена для использования разработчиками и администраторами ЕИП на стадиях проектирования, эксплуатации и реорганизации ЕИП. Она представляет собой инструмент, позволяющий на основании исходных данных оптимизировать ПРИР по критерию своевременности, с учетом предъявляемых требований по устойчивости и безопасности ЕИП.

Методика состоит из четырех этапов. Ее общая структура представлена на рисунке 8.

Особенность методики заключается в последовательном использовании генетического алгоритма [14] и имитационной модели.

На рисунке 9 представлена последовательность использования должностными лицами генетического алгоритма для решения задачи формирования множества предпочтительных ПРИР. Новизна данного алгоритма заключается

в комбинации его модификаций, таких как использование:

- многохромосомный подход к построению особи, которой является вариант ПРИР (рис. 10);
- начального структурирования популяции с гарантированным ПРИР по УХ;
- разбиения особей на группы с высоким значением функции пригодности с помощью алгоритма быстрой сортировки;
- адаптивной фильтрации, отсекающей особи с низким значением функции пригодности;
- универсального стохастического выбора числа точек скрещивания;

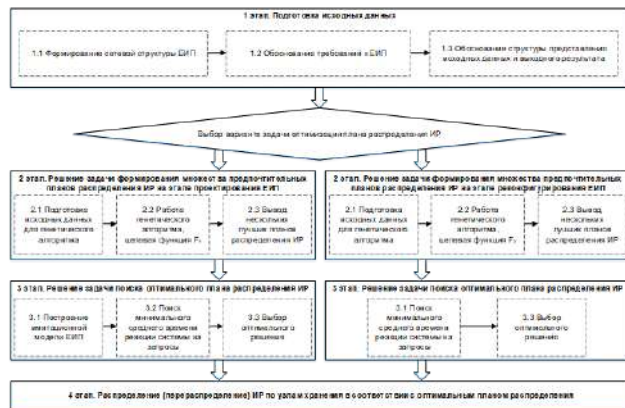


Рис. 5. Алгоритм прохождения пользовательского запроса

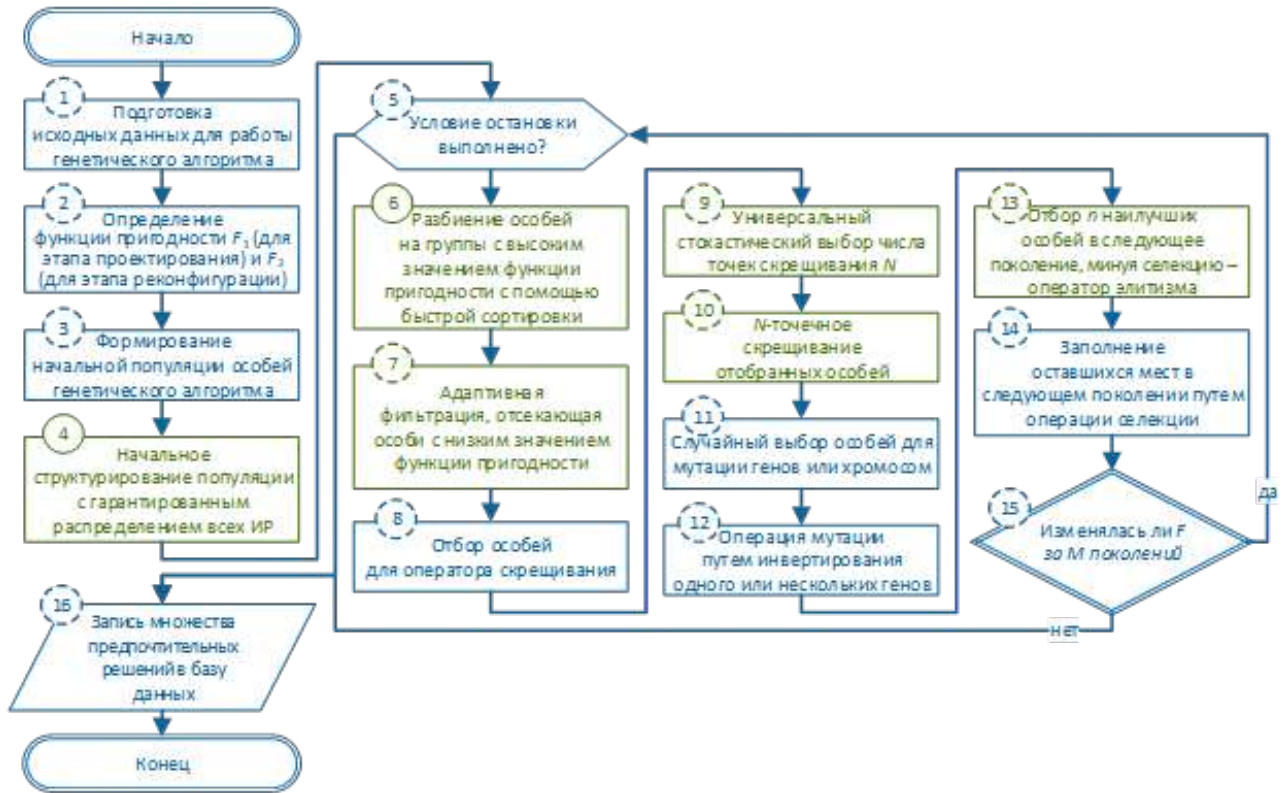


Рис. 9. Блок-схема алгоритма решения задачи формирования множества предпочтительных ПРИР

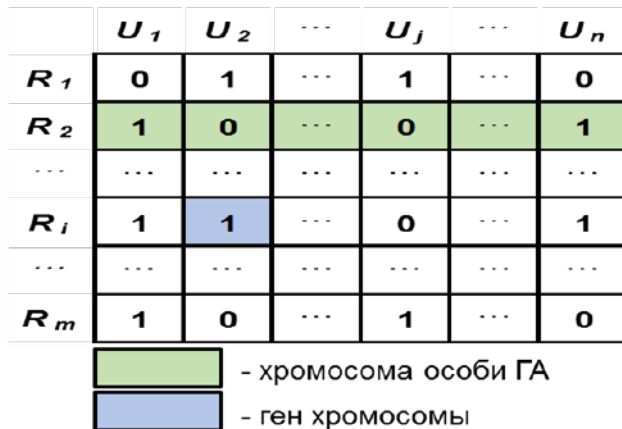


Рис. 10. Особь генетического алгоритма

элитизма, т. е. отбора нескольких наилучших особей в следующее поколение, минуя оператор селекции.

Задача формирования множества предпочтительных ПРИР решается для двух случаев, при которых целевая функция генетического алгоритма отличается [15].

В первом случае (для этапа проектирования ЕИП) целевая функция принимает следующий вид:

$$F_1 = \gamma_1 f_1 + \gamma_2 f_2 + \gamma_3 f_3, \quad (39)$$

где $f_1 = f(P_{св})$, $f_2 = f(P_{защ})$, $f_3 = f(K_r)$, при условии, что $P_{св} \rightarrow \min$, $P_{защ} \geq P_{защ}^{треб}$, $K_r \geq K_r^{треб}$.

Во втором случае (для этапа реконфигурации ЕИП) целевая функция определяется выражением:

$$F_1 = \gamma_1 f_1 + \gamma_2 f_2 + \gamma_3 f_3 + \gamma_4 f_4, \quad (40)$$

где $f_1 = f(D)$, $f_2 = f(P_{св})$, $f_3 = f(P_{защ})$, $f_4 = f(K_r)$, при условии, что $D \rightarrow \min$, $P_{св} \geq P_{св}^{треб}$, $P_{защ} \geq P_{защ}^{треб}$, $K_r \geq K_r^{треб}$.

В свою очередь D, расстояние Хэмминга между текущим ПРИР X_1 и новым X_2 , рассчитывается следующим образом:

$$D(X_1, X_2) = \sum_{l=1}^m \sum_{k=1}^n |x_{lk1} - x_{lk2}| \quad (41)$$

Оптимальный ПРИР находится на третьем этапе методики (рис. 11) при помощи использования имитационной модели, разработанной в среде имитационного моделирования AnyLogic.

При разработки имитационной модели [16] использован агентный подход и модульный принцип построения модели (рис. 12). Как упоминалось ранее, модель позволяет рассчитать показатели своевременности, безопасности и устойчивости для всех ПРИР.

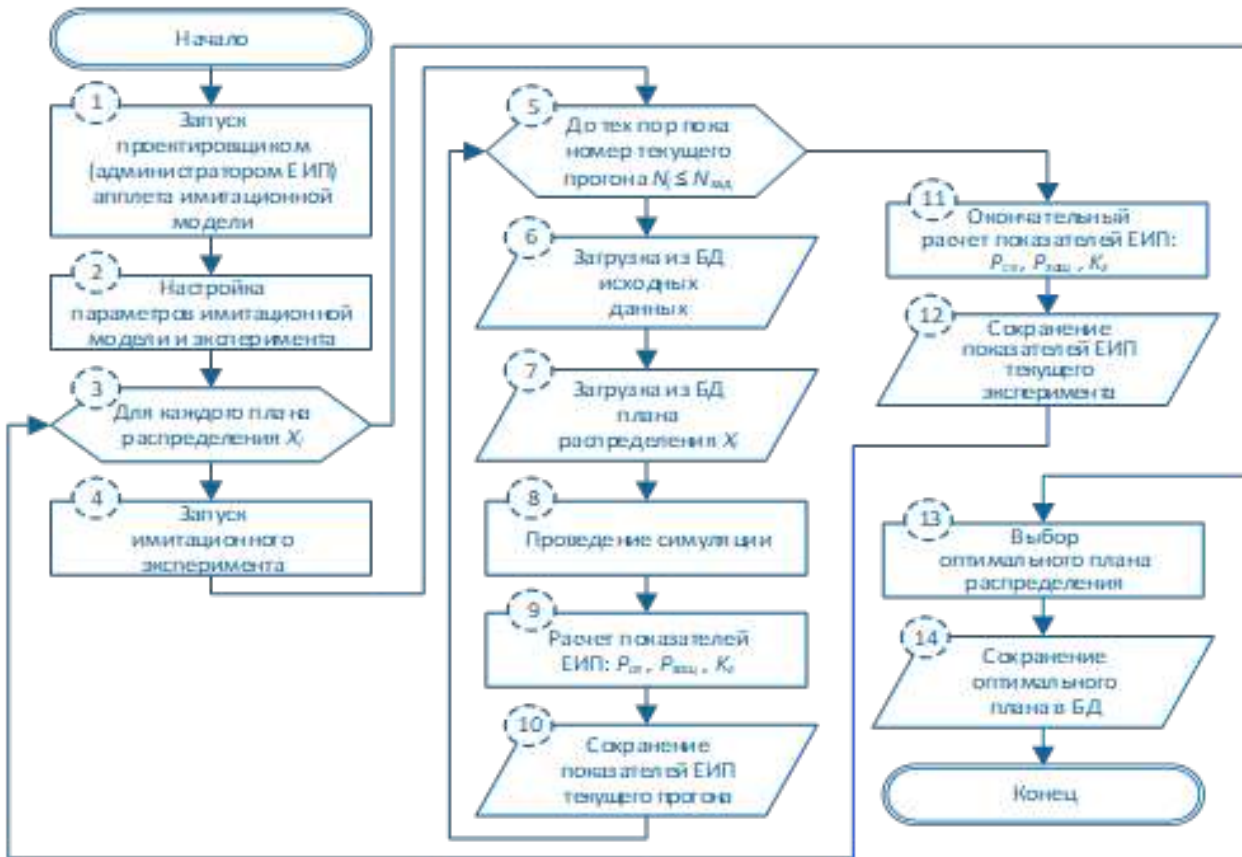


Рис. 11. Блок-схема алгоритма поиска оптимального ПРИР в ЕИП

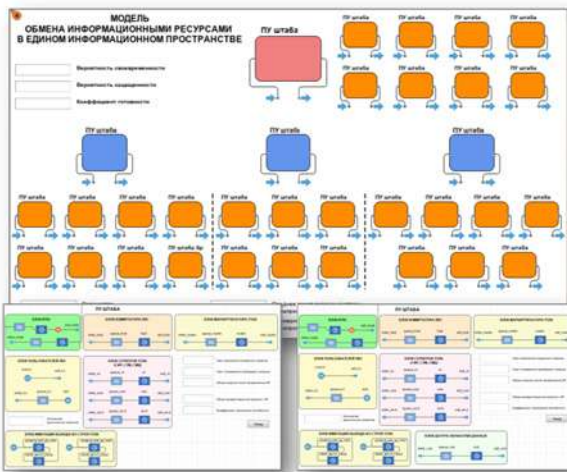


Рис. 12. Имитационная модель обмена информационными ресурсами в ЕИП

Запуск имитационной модели осуществлялся $N = 885104$ раз, тем самым обеспечивается требуемая точность $\varepsilon = 0,01$ и достоверность $\alpha = 0,95$. Количество прогонов было рассчитано по формуле [17]:

$$DN^2 = t_\alpha^2 \frac{\sigma_\alpha}{\varepsilon^2} \quad (42)$$

где t_α — значение аргумента функции Лапласа для значения достоверности α ; σ_α^2 — дисперсия, рассчитанная в ходе проведения регрессионного анализа.

Предложения по построению системы планирования РИР

Приведенная методика оптимизации РИР в ЕИП используется для построения системы планирования РИР (СПРИР). Данная система будет работать на двух этапах — на этапе проектирования ЕИП ее будут использовать разработчики и проектировщики, а на этапе реконфигурации ею будут пользоваться администраторы ЕИП.

СПРИР — автоматизированная система. Как и любая автоматизированная система она обладает присущими ей видами обеспечения (рис. 13): техническим, информационным, лингвистическим, математическим, программным и кадровым [18]. Лингвистическое и кадровое обеспечение в данной статье рассматриваться не будут.

Техническое обеспечение СПРИР представляет собой совокупность технических средств реализации процессов преобразования информации, к которым относятся средства обработки,

ввода-вывода, передачи и хранения. Остановимся более подробно на средствах обработки и хра-

нения, так как именно они представляют особую значимость для процесса РИР.

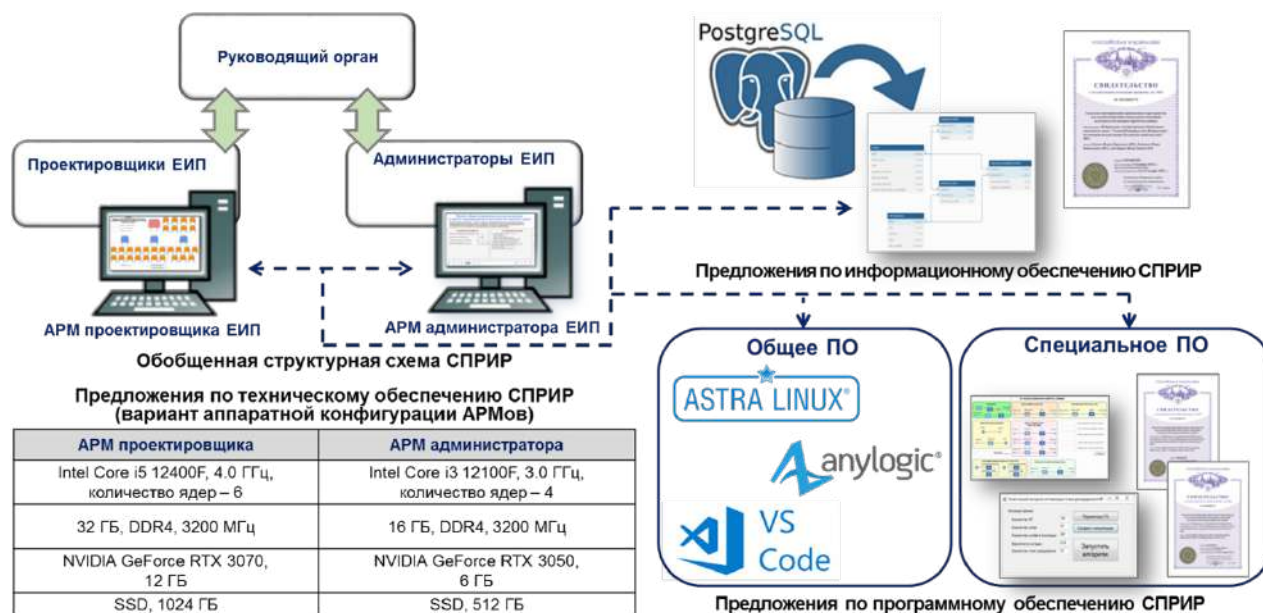


Рис. 13. Системы планирования РИР

Основу средств хранения составляют центры обработки данных (ЦОД) и сервера, предназначенные для хранения ИР в ЕИП. Технические характеристики ЦОД и серверов хранения известны и более чем достаточны для функционирования ЕИП.

К средствам обработки относятся ПЭВМ разработчика и администратора. ПЭВМ должны отвечать современным требованиям к компьютерным системам, должны быть достаточно производительны для максимального снижения времени работы специального программного обеспечения, о котором речь пойдет далее.

Варианты аппаратной конфигурации ПЭВМ разработчика и администратора представлены на рисунке 12.

Информационное обеспечение для СПРИР представляет собой комбинацию различных элементов, таких как описание информационных баз, системы классификации и кодирования данных, унифицированные системы документов и нормативно-справочные базы, необходимые для обеспечения её эффективного функционирования.

Учитывая, что персональные компьютеры, включённые в СПРИР, работают под управлением операционной системы AstraLinux, рекомендуется применять СУБД PostgreSQL для хранения исходных данных и выходного результата методики.

Математическое обеспечение СПРИР включает в себя модели, методы и алгоритмы

для преобразования информации, используемые в ее работе. Эти математические компоненты делятся на две категории: общее и специальное математическое обеспечение [19].

Общее (внутреннее) математическое обеспечение:

- включает совокупность моделей, методов и алгоритмов, которые управляют работой ЭВМ независимо от конкретной системы автоматизации управления;
- это алгоритмы, реализованные в операционных системах ЭВМ и в их системах технического обслуживания.

Специальное (внешнее) математическое обеспечение:

- охватывает модели, методы и алгоритмы, которые предназначены для решения конкретных управленческих задач;
- примеры включают аналитическую модель обмена ИР в ЕИП и алгоритмы для оптимизации использования ИР в ЕИП.

Программное обеспечение СПРИР включает в себя набор программных продуктов и документацию, которые используются для отладки, тестирования и эксплуатации системы. В зависимости от выполняемых функций его можно разделить на две основные категории: общее ПО и специальное ПО [20].

Общее ПО обеспечивает базовые функции для работы системы и возможность взаимодействия с аппаратным обеспечением, предназна-

чено для организации функционирования ЭВМ и делится на ПО ЭВМ и общесистемное ПО. К ПО ЭВМ относят операционную систему, программы технического обслуживания, сервисные программы. Основное требование — использование ПО, отечественной разработки, а именно операционной системы AstraLinux. К общесистемному ПО, помимо стандартного предустановленного ПО, следует отнести платформу для имитационного моделирования, предназначенную для разработки и использования разработанной модели обмена ИР в ЕИП. В качестве варианта — можно использовать среду имитационного моделирования AnyLogic. Также в эту группу можно отнести средства, необходимые разработчику для программирования на языке Python и библиотеки, работающие с генетическими алгоритмами, например, фреймворк DEAP.

Специальное ПО — это специализирован-

ные программные продукты, предназначенные для решения конкретных задач в рамках системы. К специальному ПО применительно к приведенным предложениям можно отнести программы решения специализированных задач, а именно: апплет имитационной модели обмена ИР в ЕИП, а также программу, реализующую методику оптимизации РИР в ЕИП, реализованную на языке программирования Python и основанную на применении генетического алгоритма.

Экспериментальная оценка предложенного подхода

Для оценки предложенного подхода были проведены контрольные вычислительные эксперименты для различных вариантов ПРИР до и после оптимизации (таблица 2). Результаты экспериментов показали прирост показателя своевременности на 4–27% (рис. 14). Цель исследования достигнута.

Таблица 2.

Результаты контрольных замеров

n узлов	m ИР	Начальное РИР	До оптимизации			После оптимизации		
			P _{св}	P _{защ}	K _г	P _{св}	P _{защ}	K _г
15	1000	X1	0,834	0,823	0,969	0,965	0,956	0,964
		X2	0,954	0,573	0,996	0,993	0,953	0,985
		X3	0,769	0,980	0,923	0,979	0,978	0,963

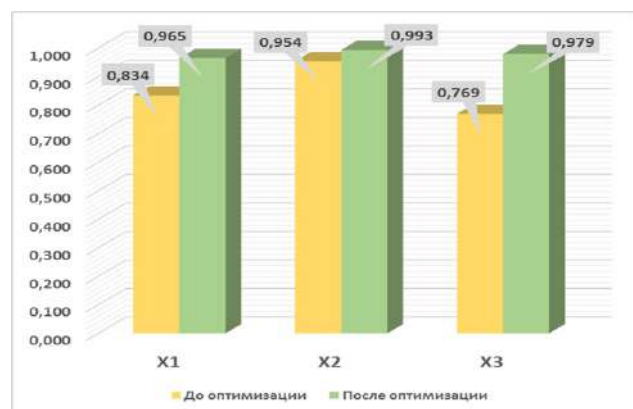


Рис. 14. Сравнение показателя своевременности до оптимизации и после

Заключение

В работе предложен подход к оптимизации ПРИР в ЕИП по критериям своевременности, устойчивости и безопасности. Показано, что достичь такого оптимального распределения можно, применяя имитационную модель обмена ИР в ЕИП и методику оптимизации ПРИР в ЕИП, основанную на использовании генетических алгоритмов. Кроме того, предложены решения по построению системы планирования РИР в ЕИП, использование которой на этапах проектирования и реконфигурации ЕИП позволяет повысить показатели своевременности, с учетом требований по устойчивости и безопасности, за счет оптимизации РИР.

Литература

1. Легков К.Е., Оркин В.В. Основные направления развития единого информационного пространства воздушно-космических сил в современных условиях // Военная мысль. 2020. № 8. С. 47–53.
2. Иванов В.Г., Гудков М.А., Лукьянчик В.Н. Единое информационное пространство Вооруженных Сил Российской Федерации - основа информационного обеспечения войск в международных вооруженных конфликтах // Военная мысль. 2023. № 5. С. 85–95.
3. Саенко И.Б., Николаев В.В., Михайличенко А.В. Распределение информационных ресурсов в едином информационном пространстве, построенном с применением мобильных центров обработки данных // «Состояние и пер-

- спективы развития современной науки по направлению «ИТ-технологии». Сборник статей I научно-технической конференции. Том 3. 2022. С. 5–11.
4. Siyuan Yang. Advancements in Network Attached Storage (NAS) for Mobile Devices: Technological Developments and Performance Assessment // Science and Technology of Engineering Chemistry and Environmental Protection. 2024. Vol. 1 No. 9. P. 1–7.
 5. Ащеулов С.В., Михайличенко Н.В., Грибков В.А., Мишутин Н.В. Центры обработки данных в автоматизированной системе обработки информации // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2023). XIII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Материалы конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 123–124.
 6. Николаев В.В. Модель обмена информационными ресурсами в едином информационном пространстве специального назначения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 2. С. 158–162.
 7. Редругина Н.М. Комплекс имитационных моделей элементов рабочих процессов для транзакционных услуг инфокоммуникационных систем. // Computing, telecommunications and control. 2023. С. 29–39.
 8. Аверина Т.А. Об одном методе моделирования неоднородного пуассоновского точечного процесса. // Сибирский журнал вычислительной математики. 2022. Т. 25. № 1. С. 1–17.
 9. Ерешко Ф.И., Киселев О.И., Шевченко В.В. Опыт исследования операций и некоторые возможности его использования в оборонно-промышленном комплексе // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2021. № 2. С. 23–31.
 10. 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.
 11. Дубровина А.И. Методы защиты информации от НСД // Modern science. 2020. № 12–3. С. 241–244.
 12. Иванов С.А. Метод оценки устойчивости информационного направления, функционирующего на ресурсах сети связи с отказами // Труды учебных заведений связи. 2021. Том 7. № 4. С. 85–94.
 13. Иванищев Ю.Г., Давыдов В.М., Сарыгин А.В. Сравнительный анализ расчетных параметров регрессионной модели в зависимости от объема выборки и методики расчета дисперсий // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2022. № 2 (65). С. 51–60.
 14. Саймон Д. Алгоритмы эволюционной оптимизации. М.: ДМК-Пресс. 2020. С. 940.
 15. Богданов М.Д., Рудинский И.Д. Использование генетического алгоритма для решения задачи поиска оптимального пути // Вестник науки и образования Северо-Запада России, 2023, Т.9, № 2. С. 76–88.
 16. Баушев С.В. Обоснование и выбор математического аппарата при проведении научных исследований // Радионавигация и время: Труды СЗРЦ концерна ВКО "Алмаз - Антей". 2024. № 14 (22). С. 15–37.
 17. Макаров А.А. Имитационное моделирование как основа решения учебно-практических задач в условиях высшей школы // Вестник международного института рынка. 2021. № 1. С. 157–163.
 18. Мегера Ю.А. Применение программного обеспечения при решении управленческих задач в общей структуре технического обеспечения связи и автоматизированной системы управления // Техника средств связи. 2022. № 3 (159). С. 21–29.
 19. Пасечник Р.М., Табункова М.П., Королёв И.Д. Математическое обеспечение оптимизационной системы защиты информации в автоматизированных системах управления // I-METHODS. 2021. Т. 13. № 1. С. 1–10.
 20. Кубасов И.А., Стрельников Ф.И. О перспективах перехода автоматизированных информационных систем на отечественное оборудование и программное обеспечение // Стратегическое развитие системы МВД России: состояние, тенденции, перспективы. Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2019. С. 115–118.

IMPROVING THE TIMELINESS OF THE INFORMATION RESOURCES EXCHANGE OF IN A COMMON INFORMATION SPACE

Nikolaev V.V.¹

Keywords: resources allocation optimization, simulation modeling, genetic algorithm, regression analysis, information resources allocation plan, information exchange, AnyLogic.

Abstract

The purpose of the work is to develop and experimentally evaluate the proposed approach to optimizing the allocation of information resources, which make up a common information space, in places of possible storage, taking into account the requirements for timeliness, stability and security.

¹Vladimir V. Nikolaev, lecturer at the Department of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg, Russia. E-mail: fortune-rus@yandex.ru

Research method: conceptual, analytical and simulation approaches were used, which together allow us to calculate the probability that the average system response time to user requests is no longer than acceptable, the readiness coefficient of the common information space and the probability of the security of the common information space from unauthorized access to information resources for a given period of time.

Results: a model for the exchange of information resources has been developed and a proof of the adequacy of the model obtained by statistical methods has been presented. A methodology for optimizing the information resource allocation plan has been created, which allows, firstly, using a genetic algorithm to generate a set of preferred information resource allocation plans, and, secondly, using the simulation component of the model to select the optimal plan that meets the specified requirements. The use of these scientific results in the applied field made it possible to formulate an applied result with practical significance, namely scientific and technical proposals for the implementation of the developed models and techniques. In conclusion, an experimental assessment of the proposed approach is presented, proving its effectiveness.

Scientific novelty: the result obtained makes it possible to evaluate the indicators of the common information space, as well as to search for an optimal plan for the allocation of information resources both at the design stage and at the stage of system reconfiguration.

The practical significance of the conducted research lies in the development of technical and applied tools that make it possible to optimally allocate information resources of a common information space and increase such indicators as the probability that the average system response time to user requests is no more than acceptable, the readiness coefficient of a common information space and the probability of security of a common information space from unauthorized access to information resources for a given period the time period.

References

1. Legkov K.E., Orkin V.V. Main directions of development of a single information space of aerospace forces in modern conditions // Military Thought. 2020. No. 8. Pp. 47-53.
2. Ivanov V.G., Gudkov M.A., Lukyanichik V.N. Single information space of the Armed Forces of the Russian Federation - the basis of information support for troops in international armed conflicts // Military Thought. 2023. No. 5. Pp. 85-95.
3. Saenko I.B., Nikolaev V.V., Mikhailichenko A.V. Distribution of information resources in a single information space built using mobile data processing centers // "State and prospects for the development of modern science in the direction of "IT technologies". Collection of articles of the I scientific and technical conference. Volume 3. 2022. Pp. 5-11.
4. Siyuan Yang. Advancements in Network Attached Storage (NAS) for Mobile Devices: Technological Developments and Performance Assessment // Science and Technology of Engineering Chemistry and Environmental Protection. 2024. Vol. 1 No. 9. P. 1-7.
5. Ashcheulov S.V., Mikhailichenko N.V., Gribkov V.A., Mishutin N.V. Data processing centers in an automated information processing system // Information security of the regions of Russia (IBRR-2023). XIII St. Petersburg interregional conference. Conference materials. St. Petersburg, 2023. P. 123-124.
6. Nikolaev V.V. Model of information resource exchange in a single special-purpose information space // Bulletin of Tula State University. Technical sciences. 2024. No. 2. P. 158-162.
7. Redrugina N.M. A set of simulation models of workflow elements for transaction services of infocommunication systems. // Computing, telecommunications and control. 2023. Pp. 29-39.
8. Averina T.A. On one method for modeling a non-homogeneous Poisson point process. // Siberian Journal of Computational Mathematics. 2022. Vol. 25. No. 1. Pp. 1-17.
9. Ereshko F.I., Kiselev O.I., Shevchenko V.V. Experience in operations research and some possibilities of its use in the defense-industrial complex // Scientific Bulletin of the defense-industrial complex of Russia. 2021. No. 2. Pp. 23-31.
10. Fabiyanovsky I.N. Ensuring the timeliness of the exchange of information resources based on distributed ledger technology // Bulletin of the Tula State University. Technical sciences. 2021. Issue. 9. P. 184-194.
11. Dubrovina A.I. Methods of protecting information from unauthorized access // Modern science. 2020. No. 12-3. P. 241-244.
12. Ivanov S.A. Method for assessing the stability of an information flow operating on communication network resources with failures // Proceedings of communication educational institutions. 2021. Vol. 7. No. 4. P. 85-94.
13. Ivanishchev Yu.G., Davydov V.M., Sarygin A.V. Comparative analysis of the calculated parameters of the regression model depending on the sample size and the method for calculating variances // Bulletin of the Pacific State University. 2022. No. 2 (65). P. 51-60.
14. Simon D. Algorithms for evolutionary optimization. Moscow: DMK-Press. 2020. S. 940.
15. Bogdanov M.D., Rudinsky I.D. Using a Genetic Algorithm to Solve the Problem of Finding the Optimal Path // Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia, 2023, Vol. 9, No. 2. P. 76-88.
16. Baushev S.V. Justification and Selection of Mathematical Apparatus in Scientific Research // Radio Navigation and Time: Proceedings of the North-West Radio Center of the Almaz-Antey Air and Space Defense Concern. 2024. No. 14 (22). P. 15-37.
17. Makarov A.A. Simulation Modeling as a Basis for Solving Educational and Practical Problems in Higher School // Bulletin of the International Market Institute. 2021. No. 1. P. 157-163.
18. Megera Yu.A. Application of software in solving management problems in the general structure of technical support for communications and an automated control system // Communication equipment. 2022. No. 3 (159). P. 21-29.
19. Pasechnik R.M., Tabunkova M.P., Korolev I.D. Mathematical support for optimizing the information security system in automated control systems // I-METHODS. 2021. Vol. 13. No. 1. P. 1-10.
20. Kubasov I.A., Strelnikov F.I. On the prospects for the transition of automated information systems to domestic equipment and software // Strategic development of the system of the Ministry of Internal Affairs of Russia: state, trends, prospects. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. 2019. P. 115-118

СВОЕВРЕМЕННОЕ ДОВЕДЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДО ПОДВИЖНЫХ НОСИТЕЛЕЙ

Чернобровкин С.В.¹

DOI: 10/24682/3034-4050-2024-3-56-63

Ключевые слова: оптимизация распределения ресурсов, транспортная задача, метод потенциалов, фрагментация данных, алгоритм последовательного насыщения, информационный обмен.

Аннотация

Цель работы: повышение вероятностно-временных характеристик доведения информации за счёт применения алгоритмов фрагментации и распределения информации в системе автоматизированного доведения.

Методы исследования: в процессе исследования использованы методы анализа и синтеза систем, математического моделирования и линейного программирования.

Результаты исследования: Создана модель процесса доведения информации, применение которой позволило определить оценочные показатели процесса доведения информации в условиях стохастического процесса.

Методика построения трактов доведения информации до подвижных носителей позволяет, используя методы линейного программирования позволило оптимизировать процесс формирования тракта доведения информации до подвижных носителей.

Научная новизна: разработана новая математическая модель процесса доведения информации до подвижных носителей на основе фрагментации информации и предложена методика построения тракта доведения информации до подвижных носителей, позволяющая повысить вероятность своевременного доведения информации в системах связи специального назначения, динамически проводить реконфигурацию тракта доведения с учетом состояния каналов связи.

Введение

Из анализа конфликтов последних лет видно, что широкое применение таких средств разведки, как беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и средств поражения, как высокоточное оружие (ВТО), позволяет достигать необходимых результатов при минимальных потерях среди личного состава и военной техники. Этот фактор положительно сказывается на проведении операций в целом.

Активное оснащение ВТО и БПЛА, разработка новых форм и способов их боевого применения, кардинально меняют характер вооруженного противоборства, что требует соответствующей реакции, в том числе и от должностных лиц, осуществляющих планирование боевого применения частей и подразделений связи. Традиционные способы ведения боевых действий и, как следствие, планирования системы связи объединения, действующие организационно-штатные структуры войск и органов управления, не позволяют в полной мере использовать потенциальные возможности современных средств разведки и поражения.

В результате проведенного анализа процесса доведения информации не решена проблема доведения больших объемов информации. В настоящее время процесс доведения больших объемов информации частично решен за счёт увеличения скорости передачи данных, что позволило уменьшить время доведения больших объемов. Но проблема вероятности своевременного доведения этих объемов также осталась не решена. При перерывах связи загрузка необходимой информации прерывается и после восстановления соединения начинается заново. Конечно, при наличии достаточных пропускных способностей средств связи, можно сказать, что это не сильно влияет на процесс доведения. Но это только на первый взгляд. При доведении больших объемов информации в течении длительного времени верность воздействий различного рода на систему доведения информации возрастает. При таких воздействиях на систему доведения происходит сбой в обмене информацией, что в свою очередь приводит к необходимости повторной загрузки информации. Тем самым время доведения ин-

¹Чернобровкин Сергей Владимирович, адъюнкт кафедры Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: sergei-chernobro@mail.ru

формации возрастает, что в свою очередь отрицательным образом сказывается на выполнении поставленных задач.

Целью настоящей работы является разработка варианта модели процесса доведения информации, который основан на методах фрагментации информации, и как следует, с меньшей вероятностью несвоевременной доставки за счет уменьшения времени на передачу одного фрагмента по сравнению с блоком исходных данных и методики построения трактов доведения информации до подвижных носителей.

Объемы информации, циркулирующей в интересах планирования и применения непосредственно влияют на оперативность её сбора, обработки и доведения по каналам связи и составляют от десятков килобайт до десятков и сотен гигабайт.

Объемы информации, циркулирующие в системе информационного обеспечения, классифицируются следующим образом:

- до 100 КБ — небольшие (малые) объемы;
- от 100 КБ до 1 МБ — средние объемы;
- от 1 МБ до 1 ГБ — большие объемы;
- более 1 ГБ — сверхбольшие объемы.

С целью планирования боевого применения, необходимо передать до 10 Гбайт различного вида данных, при этом время готовности к применению средств определяется из решения соответствующих органов управления, планирующих применение таких средств. При планировании применения необходимо своевременно передать информацию по сетям передачи, построенным на средствах полевой опорной сети связи, что связано с ограниченной пропускной способностью каналов связи при передаче информации и, соответственно, малую вероятность своевременной передачи необходимого объема информации.

Постановка задачи.

Предположим, что имеется система доведения информации, которая включает:

- $A = \{a_i\}$ — множество серверов хранения;
- $N = \{n_g\}$ — множество требуемых ресурсов;
- $B = \{b_o\}$ — множество объемов ресурсов;
- $L = \{l_j\}$ — множество получателей;
- $C = \{c_h\}$ — множество пропускных способностей каналов связи;

$R = \{r_{ab}\}$ — множество фрагментов информации;

$RTT = \{rtt_{ij}\}$ — множество круговых задержек при передаче между узлами a_i и l_j (бит/с);

$U = \{u_a\}$ — множество алгоритмов доведения информации в тракте;

$DV = \{dv_e\}$ — множество воздействий на

сеть передачи данных.

Допущения и ограничения:

- внутренний нарушитель отсутствует;
- требуемое время доведения $t_{\text{треб}}$ информации, объемом до 1 Гбайт не превышает 70 мин;
- рассматривается тракт доведения в закрытой сети передачи данных.

Требуется разработать:

1. M — модель процесса доведения информации

$$M = f(A, C, R, RTT, DV, S(x))$$

$S(x) = f(L, B, N)$ показатели системы доведения информации;

$C = \{c_h\}$ — множество пропускных способностей каналов связи;

$R = \{r_{ab}\}$ — множество фрагментов;

$RTT = \{rtt_{ij}\}$ — множество круговых задержек при передаче между узлами a_i и l_j (бит/с);

$DV = \{dv_e\}$ — множество воздействий на сеть передачи данных.

2. MT — методика построения трактов передачи данных доведения информации до подвижных носителей

$$MT = f(M, Z_k, U, K_s),$$

где Z_k — множество характеристик средств связи, $\{1...k\}$;

K_s — множество характеристик объектов, $\{1...s\}$;

$U = \{u_a\}$ — множество алгоритмов функционирования тракта.

С целью разработки модели процесса доведения информации предлагается решать задачу с целевой функцией вероятности своевременной доставки блока данных. В качестве оптимизируемых параметров будет рассматриваться количество фрагментов блока данных, на которые данный исходный блок фрагментируется и распределение этих фрагментов по необходимому числу источников данных информации. [1]

Этапы разработки модели:

1. Оптимизация размера фрагмента;
2. Оптимизация распределения фрагментов, назначаемых для передачи источниками информации [2].

Исходными данными 1-го этапа является анализ вероятностно-временных характеристик при заданных:

- L_1 — объем информационной части блока;
- c — контрольная сумма;

Исходя из длины информационной части

блока и контрольной суммы получим объем информационной части блока данных с учетом контрольной суммы

$$V_1 = L_1 + c, \quad (1)$$

Таким образом, необходимо определить оптимальное количество фрагментов s , для которого обеспечивается максимум вероятности своевременной доставки блока.

Предлагается пересчитать вероятность своевременной доставки блока к вероятности своевременной доставки фрагмента, найти вероятность своевременной доставки (функцию распределения вероятности времени доставки) фрагмента и найти оптимальное количество фрагментов [3–5]

$$Q = (1 - p)^n, \quad (2)$$

где,

Q — вероятность правильного приема блока;

p — вероятность неправильного приема блока;

n — количество символов.

Из выражения вероятности правильного приема сообщения, состоящего из n символов, получим, что при фрагментации блока данных на s фрагментов, формула (2) будет иметь следующий вид [1, 4, 5]

$$Q(s) = (1 - p)^{1/s}, \quad (3)$$

Исходя из (2) и (3), получим

$$P_{v(s)} = 1 - (1 - p)^{V(s)/V_1}, \quad (4)$$

$P_{v(s)}$ — вероятность неправильного приема фрагмента.

Исходя из исходных данных получим размер информационной части фрагмента по формуле

$$L(s) = \frac{L_1}{s}, \quad (5)$$

Тогда, общий объем фрагмента составит

$$L_{sc} = L(s) + c, \quad (6)$$

Исходя из формулы (6) размер блока, состоящего из s фрагментов

$$V(s) = s(L(s) + c) = L_1 + sc. \quad (7)$$

Относительное время передачи s фрагментов (т. е. всего блока)

$$t_s = \frac{V(s)}{V_1} s. \quad (8)$$

Допустимое время, отводимое на пере-спросы, вычисляется по формуле

$$t_k = t - \frac{V(s)}{V_1} s, \quad (9)$$

где t — время передачи блока данных без учета деструктивных воздействий.

Вероятность передачи фрагментов за s шагов рассчитывается с помощью вероятностно-временных графов [2, 4–7].

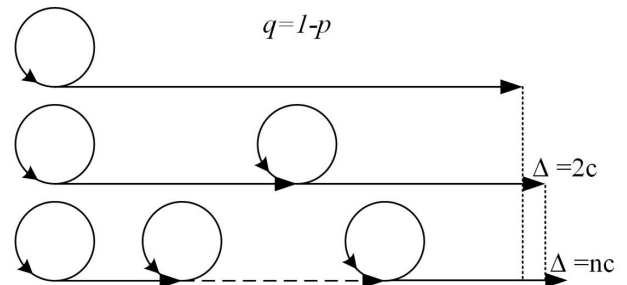


Рис. 1 Вероятностно-временной граф передачи блока данных

Здесь, $q = (1 - p)^{V(s)/V_1}$, — вероятность успешной передачи фрагмента,

n — количество фрагментов блока информации, p — это вероятность переспроса фрагмента.

Для передачи одного фрагмента (т. е. перехода на один шаг вправо за время k)

$$Pr \{j = k\} = qp^k. \quad (10)$$

При этом, функция распределения вероятности имеет вид

$$Pr \{T_1 \leq t = t_s + t_k\}: \quad (11)$$

$$\begin{cases} Pr \{T_1 \leq t\} = 0 \text{ при } t < t_s, \\ Pr \{T_1 \leq t\} = \sum_{j=1}^k p_n (1 - q)^k n \text{ при } t \geq t_s, \end{cases}$$

где $k = \text{Int}(t - \frac{V(s)}{V_1} s)$, (при большом s : $k = t - \frac{V(s)}{V_1} s$).

Функция распределения вероятности времени передачи s фрагментов определяется сверткой полученных функций. В связи с большой вычислительной сложностью полученных свертки, расчет осуществляется через математическое ожидание времени передачи пакета m и дисперсию σ^2 , аппроксимируя распределением Гаусса.

В связи с дискретными значениями количества шагов s производящая функция вероятности времени передачи фрагмента имеет вид [2,3]:

$$\chi(z) = qz(1 + pz + p^2 z^2 + \dots) = \frac{qz}{1 - pz}. \quad (12)$$

Из производящей функции получим математическое ожидание времени передачи фрагмента [2]:

$$m = x'(1) = q(p + 2p^2 + 3p^3 + \dots) = \frac{q(1-pz) + pqz}{(1-pz)^2} = \frac{q}{(1-pz)^2} \Big|_{z=1} = \frac{1}{q}, \quad (13)$$

$$\sigma^2 = m_2 - m_1^2, \quad (14)$$

где m_2 — второй момент

Последовательность вычисления второго момента [2, 3]

$$m_2 = (\chi'(z) z)' \Big|_{z=1}, \quad (15)$$

$$\chi'(z) = \frac{q}{(1-pz)^2}, \quad z\chi'(z) = \frac{qz}{(1-pz)^2}, \quad (16)$$

$$[z\chi'(z)]' = q \frac{(1-pz)2 + 2p(1-pz)^2}{(1-pz)^4} = q \frac{(1-pz) + 2pz}{(1-pz)^3} = q \frac{1+pz}{(1-pz)^3}, \quad (17)$$

$$m_2 = (\chi'(z)z)' \Big|_{z=1} = q \frac{1+p}{(1-p)^3} = \frac{1+P_{\text{до}}}{(1-P_{\text{до}})^3}, \quad (18)$$

Исходя из (5–7) получим дисперсию через моменты времени передачи фрагмента

$$\sigma^2 = m^2 - m_1^2 = \frac{1+p}{q^2} - \frac{1}{q^2} = \frac{P_{\text{до}}}{(1-P_{\text{до}})^2}, \quad (19)$$

Исходя из полученных выражений для вычисления математического ожидания и дисперсии передачи блока от количества фрагментов получим

$$m(s) = V(s) \frac{L_{sc}}{V_1} \frac{1}{(1-P_{\text{до}})^{s/2} V_1}, \quad (20)$$

$$\sigma^2(s) = V^2(s) \left[\frac{L_{sc}}{V_1} \right]^2 \frac{P_{\text{до}}}{(1-P_{\text{до}})^2}, \quad (21)$$

$$\sigma(s) = V(s) \frac{L_{sc}}{V_1} \sqrt{\frac{P_{\text{до}}}{(1-P_{\text{до}})^2}}, \quad (22)$$

Таким образом функция распределения вероятности времени передачи s фрагментов примет вид

$$Pr\{T(s) \leq t\} = F \left(\frac{t - \frac{L_{sc}}{V_1} - m(s)}{\sigma(s)} \right). \quad (23)$$

Аппроксимируя распределением Гаусса для заданного t находим оптимальное значение s .

Рассмотренный пример для моделирования состояний дает возможность пошагово определять значения индикаторов состояния, что позволяет получать наблюдения за числовыми

значениями вероятности своевременной доставки.

Для примера реализации работы модели в качестве исходных данных были использованы количество фрагментов исходного объема информации и вероятность своевременной доставки исходного объема информации, необходимой для передачи.

Для примера реализации работы модели были использованы различные вероятности своевременного доведения исходного объема информации $P_{\text{до}}$.

В качестве единиц измерения приняты t — время своевременного доведения блока данных без учета деструктивных воздействий; s — количество фрагментов, на которое разделен исходный объем информации (рис.2, 3).

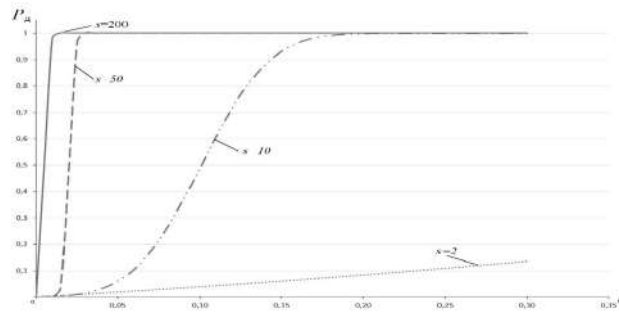


Рис. 2. График зависимости вероятности своевременного доведения фрагментов от времени при вероятности своевременного доведения исходного объема информации $P_{\text{до}}=0,9$

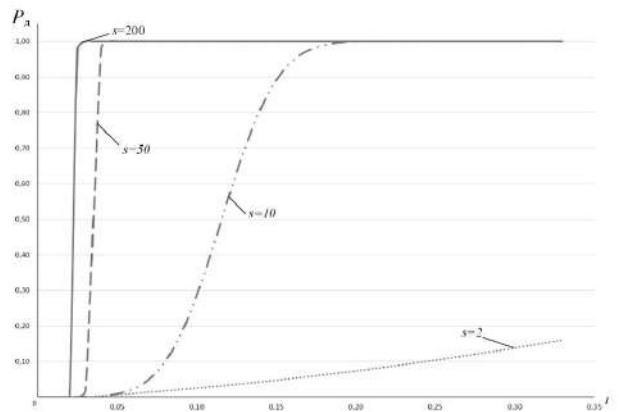


Рис. 3. График зависимости вероятности своевременного доведения фрагментов от времени при вероятности своевременного доведения исходного объема информации $P_{\text{до}}=0,5$

В качестве единицы измерения времени t своевременной доставки при данном подходе используется время передачи блока данных без учета деструктивных воздействий с учетом пропускной способности сети передачи данных.

Из анализа работы полученной математической модели процесса доведения информации

до подвижных носителей специального назначения, можно сделать вывод, что при передачи больших и сверхбольших объемов информации в интересах планирования применения объектов специального назначения, процесс фрагментации блока данных на фрагменты, позволяет существенно повысить вероятность своевременной доставки объемов информации, необходимой для планирования применения объектов специального назначения.

Все это позволяет сделать вывод о целесообразности использования разработанной модели для математического описания стохастического процесса доведения информации, имеющего место в системе доведения информации до подвижных носителей специального назначения.

По результатам работы модели процесса доведения информации предлагается разработать методику построения тракта доведения информации, которая предназначена для повышения своевременности доведения информации до подвижных носителей.

Выходными результатами методики являются:

$A = \{a_i\}$ — множество серверов хранения;
 $R = \{r_{ab}\}$ — множество фрагментов ресурсов;

$S = \{s_a\}$ — множество трактов доведения, где $s_a = \{1 - A\} | t \leq t_{\text{треб}}$

Этапы работы методики

I этап. Распределение информации по источникам доведения

Определение доступности вторичных серверов хранения информации:

организационная работа определения A серверов хранения информации;

проверка соответствия пропускных способностей каналов связи между серверами хранения информации;

проверка каналов связи между серверами хранения информации и получателями информации.

Кэширование исходного объема информации на вторичные сервера хранения.

II этап. Определение критериев фрагментации информации на основе характеристик сети передачи данных

Формирование опорного плана доведения информации;

Определение критериев фрагментации исходного объема информации;

III этап. Доведение информации до подвижных носителей

Доведение информации от a_i с максимальной возможной скоростью передачи информации;

Определение характеристик сети передачи данных в момент t_i ;

Определение возможности доведения информации с a_i при

условии $t \leq t_{\text{треб}}$;

Подключение алгоритма последовательного насыщения для уменьшения времени доведения информации;

Мониторинг процесса доведения информации по алгоритму контрольных сумм с целью своевременного доведения информации.

IV этап. Верификация полученной информации

Проверка соответствия полученной информации с исходной информацией, находящейся на серверах хранения. [4]

С целью уменьшения времени в интересах планирования доведения информации на начальном этапе работы методики предлагается использовать линейное программирование (транспортную задачу доставки ресурсов до потребителей) методом Фогеля.

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &= a_i, i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_j, j = 1, 2, \dots, m \\ x_{ij} &> 0 \end{aligned} \right\} z(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (24)$$

Таблица 1.

Решение транспортной задачи

	Получатель 1	Получатель 2	Получатель 3	Получатель j	Отправлено
Отправитель 1	$x_{11} \quad c_{11}$	$x_{12} \quad c_{12}$	$x_{13} \quad c_{13}$	$x_{1j} \quad c_{1j}$	a_1
Отправитель 2	$x_{21} \quad c_{21}$	$x_{23} \quad c_{22}$	$x_{23} \quad c_{23}$	$x_{2j} \quad c_{2j}$	a_2
Отправитель 3	$x_{31} \quad c_{31}$	$x_{32} \quad c_{32}$	$x_{33} \quad c_{33}$	$x_{3j} \quad c_{3j}$	a_3
Отправитель i	$x_{i1} \quad c_{i1}$	$x_{i2} \quad c_{i2}$	$x_{i3} \quad c_{i3}$	$x_{ij} \quad c_{ij}$	a_i
Загружено	b_1	b_2	b_3	b_j	$\sum_{j=1}^n b_j = \sum_{i=1}^m a_i$

Суть метода аппроксимации Фогеля заключается в следующем:

для каждой строки и для каждого столбца находится разность между двумя записанными в них минимальными тарифами. Полученные разности записываются в специально отведенные для этого столбце и строке в таблице условий задачи;

среди указанных разностей выбирается максимальная. В строке (или в столбце), которой данная разность соответствует, определяется минимальный тариф. Клетку, в которой он записан заполняется на данной итерации;

если минимальный тариф одинаков для нескольких клеток данной строки (столбца), то для заполнения выбираем ту клетку, которая соответствует наибольшей разности между двумя минимальными тарифами в данном столбце (строке).

Применение метода аппроксимации Фогеля позволяет получить либо опорный план, близкий к оптимальному, либо сам оптимальный план по сравнению с другими методами решения транспортных задач (северо-западного угла, минимального элемента).

Процедура нахождения оптимального плана транспортной задачи имеет два этапа. На первом этапе находят опорный план транспортной задачи. Далее последовательно улучшают найденный опорный план до получения оптимального плана.

План $X = (x_{ij})$ транспортной задачи будет оптимальным, если существует система $(m + n)$ чисел α_i, β_j , называемых потенциалами поставщиков и потребителей соответственно, удовлетворяющая условиям:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_i + \beta_j + c_{ij} &= 0, \text{ для } x_{ij} > 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \\ \alpha_i + \beta_j + c_{ij} &\geq 0, \text{ для } x_{ij} = 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \right\} \rightarrow \text{opt } X \quad (25)$$

Этапы решения транспортной задачи:

- формирование опорного плана;
- вычисление разностей в каждой строке и в каждом столбце между наименьшей стоимостью и ближайшей к ней по величине. Разности по строкам записываются справа в столбце разностей, разности по столбцам — внизу в строке разностей;
- поиск из всех разностей, как по строкам, так и по столбцам максимальной;
- определение максимально возможного количества ресурсов с наименьшей стоимостью;
- вычисление разностей столбцам и строкам, не принимая во внимание заполненные ячейки и

определение максимальной разности в строке или столбце;

поиск минимального элемента в строке или в столбце с максимальной разностью и размещения в данную клетку максимально возможного количества ресурса, возвращение к этапу № 5;

проверка опорного плана на оптимальность; определение системы уравнений для потенциалов и вычисление их значения;

оптимизация опорного плана с учетом перераспределения после вычисления значений потенциалов;

переход к модифицированному опорному плану.

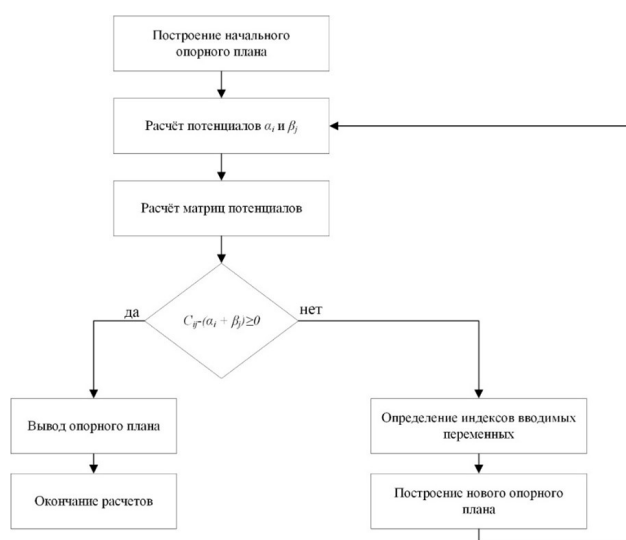


Рис. 4. Схема оптимизации транспортной задачи методом потенциалов

Согласно [7–9]

$$C_{tcp} = \frac{cwnd}{RTT} \quad 2 \quad (26)$$

Исходя из полученных данных, максимальная пропускная способность соединения при круговой задержке и стандартном размере окна tcp (64 КБ), получен график использования пропускной способности, представленный на рис. 4

²RFC 6349, IETF, 2011, RFC 2488, IETF, 1999



Рис. 5. График загрузки информации без учета алгоритма последовательного насыщения

С целью повышения использования пропускной способности канала связи использован алгоритм последовательного насыщения, схема которого представлена на рис. 5.

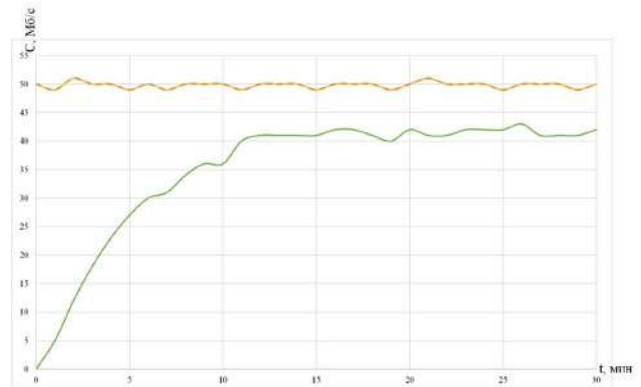


Рис. 7. График загрузки информации с учетом алгоритма последовательного насыщения

В результате работы алгоритма последовательного насыщения, получим

$$C_{pn} = \sum_1^n C_i^{tcp} | C_{pn} \rightarrow C_{kc} \quad (27)$$

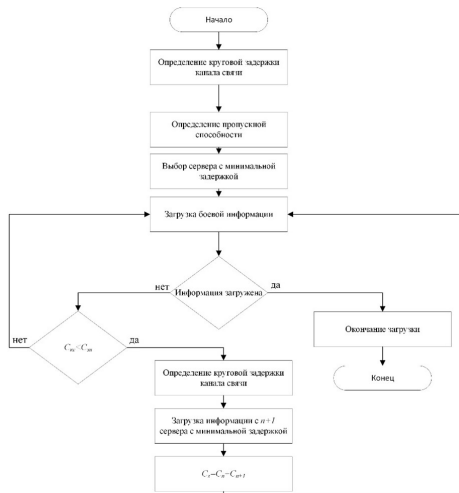


Рис. 6. Схема работы алгоритма последовательного насыщения

Заключение

В работе предложен подход к повышению своевременности доведения информации больших объемов за счет фрагментации исходного объема информации. Показано, что достичь повышения своевременности доведения информации можно, применяя модель процесса доведения информации и методику построения тракта доведения информации.

Литература

1. Хедми А. Таха, Исследование операций. - Санкт-Петербург, Издательский дом «Вильямс», 2016.
2. Чуднов А.М. Монография. Математические основы моделирования, анализа и синтеза систем. - Санкт-Петербург, Военная академия связи, 2021.
3. Кочкаров А.А., Тимошенко А.В., Оценка непрерывности информационного взаимодействия и доведения информации в системах мониторинга с динамической структурой. –Журнал «Электромагнитные волны и электронные системы», № 8, 2019.
4. Пантенков Д.Г., Моделирование и сравнительный анализ своевременности передачи информации от источника к получателю в двухуровневой системе спутниковой связи с использованием космических аппаратов на низких и геостационарных орбитах. -Системы управления, связи и безопасности, № 4, 2020.
5. Жуков Г.А., Будко Н.П., Способы устойчивого доведения информации по каналам с переменными параметрами. - Системы управления, связи и безопасности, № 4, 2020.
6. Пятаков А.И., Кальников В.В., Береснев Ю.И., Модель оценки своевременности межобъектового информационного обмена. – Автоматизированные системы управления, № 4, 2023.
7. Богатырев В.А., Богатырев С.В. Своевременность обслуживания в многоуровневых кластерных системах поэтапным уничтожением просроченных запросов. - Вестник компьютерных и информационных технологий, № 2, с 28-35, 2018.

8. Дмитриев К.А. Discover the Edge: Современные решения для задач будущего. - ИнформКурьер-Связь, №3, 2019, с. 58-59.
9. Олифер В., Олифер Н., Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. - Санкт-Петербург, Питер, 2021.

TIMELY DELIVERY OF INFORMATION TO MOBILE CARRIERS

Chernobrovkin S.V.¹

Keywords: resource allocation optimization, transportation problem, method of potentials, data fragmentation, sequential saturation algorithm, information exchange.

Abstract.

The purpose of work: increase of probabilistic-temporal characteristics of information delivery due to application of algorithms of fragmentation and distribution of information in the system of automated delivery and multithreaded data transmission.

Research results: the goal is achieved thanks to the developed model of the information delivery process and methods of construction of information delivery paths. The used methods allow to determine the structure of the information delivery path and, taking into account destructive effects on the data transmission network, to reconfigure the delivery paths in near-real time mode in the interests of timely information delivery.

When creating the model, the analytical approach is used, which allows to calculate the indicators of timeliness of information delivery for any plan of information resources distribution.

The second scientific result - the methodology of building paths of information delivery to mobile carriers allows, firstly, using linear programming methods in solving the problem of finding a reference plan and its optimization to form a set of preferred plans for the distribution of information resources, and, secondly, using the algorithm of sequential saturation, to select the optimal plan that meets the specified requirements.

Novelty: the model based on the apparatus of mathematical statistics and probability theory allows to analyze the probabilistic-temporal characteristics of the data transmission network in a time scale close to real time, to optimize the parameters of the process of information delivery, which are used to increase the probability of timely information delivery to mobile carriers.

The developed methodology of construction of data transmission paths of information delivery to mobile carriers is based on the application of the model of the information delivery process and the solution of the transport problem by the method of linear programming allows to increase the probabilistic-temporal characteristics of information delivery by optimizing the reference plan.

The developed algorithm of sequential saturation allows to effectively use the resources of the data transmission network in the interests of the information delivery system.

References

1. Hedmi A. Taha, Operations Research. - St. Petersburg, Williams Publishing House, 2016.
2. Chudnov A.M. Monograph. Mathematical foundations of modeling, analysis and synthesis of systems. - St. Petersburg, Military Academy of Communications, 2021.
3. Kochkarov A.A., Timoshenko A.V., Estimation of continuity of information interaction and information delivery in monitoring systems with dynamic structure. -Journal of Electromagnetic Waves and Electronic Systems, No. 8, 2019.
4. Pantenkov, D.G., Modeling and comparative analysis of timeliness of information transfer from source to receiver in two-level satellite communication system using spacecraft in low and geostationary orbits. -Control, Communication and Security Systems, No. 4, 2020.
5. Zhukov G.A., Budko N.P., Methods of stable information delivery over channels with variable parameters. - Control Systems, Communications and Security, No. 4, 2020.
6. Pyatakov A.I., Kalnikov V.V., Beresnev Y.I., Model of estimation of timeliness of inter-object information exchange. - Automated Control Systems, No. 4, 2023.
7. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V. Timeliness of service in multilevel cluster systems by stage-by-stage destruction of overdue requests. - Bulletin of Computer and Information Technologies, No. 2, pp. 28-35, 2018.
8. Dmitriev K.A. Discover the Edge: Modern solutions for tasks of the future. - InformCourier-Svyaz, No. 3, 2019, pp. 58-59.
9. Olifer V., Olifer N., Computer Networks. Principles, technologies, protocols. - St. Petersburg, Peter, 2021.

¹Chernobrovkin Sergei Vladimirovich, adjunct at the Department of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg, Russia. E-mail: sergei-chernobro@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСОБРАЗНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТЕЙНЕРА E2 СИНХРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ИЕРАРХИИ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ясинский С.А.¹, Буравцова Д.А.², Усацкий В.А.³

DOI:10.24682/3034-4050-2024-3-64-69

Ключевые слова: контейнер синхронной цифровой иерархии, двойное назначение, канал передачи E2.

Аннотация

Цель работы – проанализировать градации скоростей передачи плезиохронной цифровой иерархии и предложить целесообразность введения групповой скорости передачи 8,448 Мбит/с (E2) в качестве дополнительного контейнера в синхронном транспортном модуле синхронной цифровой иерархии.

Метод исследования: анализ существующих технологий построения систем передачи плезиохронной и синхронной цифровой иерархии.

Результаты исследования: В результате проведения анализа градаций скоростей каналов передачи плезиохронной цифровой иерархии обнаружено отсутствие их оптимальной вложенности в синхронный транспортный модуль STM-1 из-за отсутствия на его входах групповой скорости вторичного цифрового канала передачи европейской плезиохронной цифровой иерархии (8,448 Мбит/с).

После рассмотрения возможной причины отказа от использования скорости передачи европейской плезиохронной цифровой иерархии (8,448 Мбит/с) в качестве контейнера в синхронном транспортном модуле STM-1 сделано предложение о целесообразности его практической реализации на основе уточненной в работе схемы формирования STM-1 с дополнительным контейнером и возможностью производства с использованием отечественной элементной базы, что позволит повысить пропускную способность и безопасность создаваемых телекоммуникационных сетей.

Практическая ценность: Полученные научные результаты позволяют уточнить градацию скоростей передачи для синхронного транспортного модуля систем передачи синхронной цифровой иерархии путем введения с целью мультиплексирования дополнительной групповой скорости плезиохронной цифровой иерархии 8,448 Мбит/с, что позволит повысить пропускную способность и устойчивость транспортных сетей связи общего пользования и специального назначения.

Введение

На протяжении нескольких десятилетий наблюдается эволюционный переход от транспортных сетей связи (ТС) с использованием цифровых систем передачи (ЦСП) плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ, т. е. PDH) к телекоммуникационным сетям (ТКС) с применением систем передачи синхронной цифровой иерархии (СЦИ, т. е. SDH), а в настоящее время — к оптическим транспортным сетям (ОТС, т. е. OTN) на основе внедрения волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) с уплотненным волновым мультиплексированием (DWDM) и фотонных коммутаторов в виде реконфигурируемых оптических мультиплексоров ввода-вывода (ROADM) [1, 2]. Будучи консервативным, этот эволюционный переход сопровождается длительным периодом совместного использования в ТС разных технологий построения

ЦСП и систем коммутации, а тенденция внедрения высокоскоростных технологий связана с возрастающей потребностью в обмене человечеством большими объемами информационных потоков (ИП) [3].

Что касается сетей связи специального назначения (СН), которые являются составной частью Единой сети электросвязи (ЕСЭ) РФ, то с учетом их развертывания в полевых условиях с использованием не только ВОСП, но и проводных направляющих систем с медными жилами или (и) среды распространения радиосигналов, следует учитывать ограничения для эффективно передаваемых полос передачи сигналов электросвязи.

Следовательно, при обосновании применения имеющихся технологий построения ЦСП и систем коммутации для развертываемых ТС СН

¹Ясинский Сергей Александрович, доктор технических наук., доцент, профессор кафедры военных систем многоканальной электропроводной и оптической связи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: yasinsky777@mail.ru.

²Буравцова Дарья Александровна, старший преподаватель кафедры военных систем многоканальной электропроводной и оптической связи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербургу E-mail: dariko84@inbox.ru.

³Усацкий Владимир Анатольевич, преподаватель кафедры военных систем многоканальной электропроводной и оптической связи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: usvovan@yandex.ru.

следует учитывать целесообразность использования той или иной скорости передачи групповых ИП в образуемых линейных трактах (ЛТ) проводных, радиорелейных и другого рода ЦСП. Однако, обоснованному выбору скоростей передачи в ЛТ предшествует огромная работа по проектированию ЦСП, где в технических заданиях заранее определяются требования к номиналам этих скоростей в соответствии со стандартами РФ и международными Рекомендациями.

Нет сомнения, что международные стандарты и Рекомендации должны учитываться при разработке ЦСП и систем коммутации ТС СН, но с учетом ведения против бывшего СССР и современной РФ гибридной войны. Общеизвестно, что в этой гибридной войне особое внимание уделяется экономической и информационной составляющей⁴. Поэтому следует более внимательно и критически отнестись к используемым в соответствии с международными Рекомендациями градациям скоростей передачи Европейской ПЦИ, так как в синхронном транспортном модуле аппаратуры СЦИ по непонятным причинам отсутству-

ет групповая скорость передачи второй ступени иерархии 8,448 Мбит/с.

Анализ градаций скоростей каналов передачи ПЦИ и контейнеров СЦИ

Для построения цифровых первичных сетей связи и транспортных сетей связи ЕСЭ РФВ используются дополняющие друг друга и эволюционно развивающиеся технологии ПЦИ, СЦИ и ОТС на основе DWDM. Во всех этих технологиях для образования каналов передачи (КП) применяется принцип временного мультиплексирования с поддержанием заранее определенных стандартами иерархий скоростей и максимальной степенью вложенности групповых скоростей меньшей технологической иерархии в большую иерархию, т. е. иерархия ПЦИ вкладывается в иерархию СЦИ, а последняя — в ОТС. Классификация скоростей передачи для каналов передачи трех международных систем ПЦИ приведена на рисунке 1, где [2, 3]: европейская — Европа, Южная Америка и др.; североамериканская — США и Канада; японская — Япония.

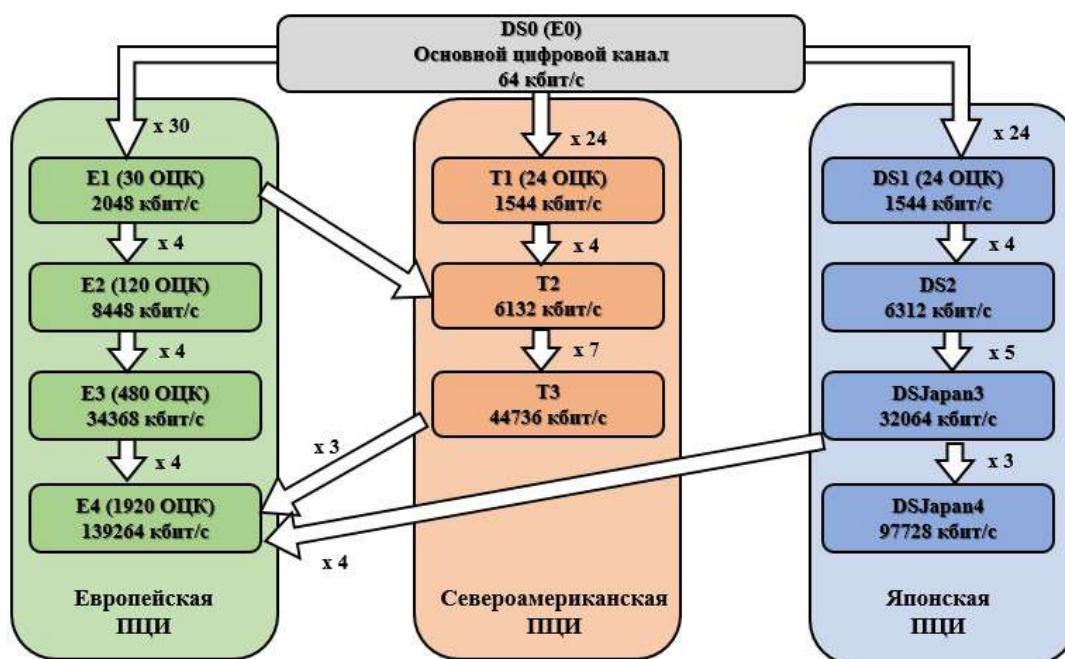


Рис.1. Классификация скоростей передачи для каналов передачи трех международных систем ПЦИ

Анализ трех международных иерархий скоростей на рисунке 1 позволяет сделать следующие выводы:

- ✓ во всех иерархиях скоростей передачи утвержден единый основной цифровой КП (ОЦК) со скоростью 64 кбит/с;
- ✓ европейская ПЦИ скоростей передачи полностью не соответствует североамериканской и японской;
- ✓ первая и вторая ступени североамериканской

⁴Указ Президента Российской Федерации от 31.03.2023 №229 об утверждении Концепции внешней политики Российской Федерации URL: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/udpjZePcMAycLXOGGAgmVHQDloFCN2Ae.pdf> (дата обращения: 05.11.2024).

- и японской иерархий скоростей передачи находятся в полном соответствии;
- ✓ в качестве коэффициента мультиплексирования (КМ) для большинства ступеней иерархии принято число четыре, за исключением перехода от второй к третьей ступени в североамериканской и японской ПЦИ;
- ✓ допускается совместимость между тремя иерархиями скоростей ПЦИ.

В процессе внедрения технологии СЦИ при модернизации ТС возникла проблема наиболее рационального перехода от КП со скоростями ПЦИ к формированию на их основе слоя типовых КП, на основе которых образуется слой групповых трактов и на завершающем этапе — слой

среды передачи. Начальной функцией в технологии СЦИ является образование контейнеров (С) для общепринятых на международном уровне каналов передачи ПЦИ, на выходе которых скорости увеличиваются за счет добавления выравнивающих, управляющих и упаковывающих импульсов (битов). Классификация возможного образования различных типов контейнеров на основе общепринятых скоростей передачи ПЦИ для первой ступени СЦИ в виде основного (первого) синхронного транспортного модуля (СТМ, т. е. STM-1) со скоростью 155,52 Мбит/с была специально выбрана под передачу максимально возможной из всех систем скорости четвертой ступени иерархии (139,264 Мбит/с). Скорости КП на входе и выходе контейнеров СЦИ приведены в таблице [2].

Таблица 1.

Скорости передачи на входе и выходе контейнеров СЦИ

Условное обозначение контейнера СЦИ	Скорость КП на выходе контейнера, Мбит/с	Скорость КП ПЦИ на входе контейнера, Мбит/с	Соответствие КП ПЦИ определенной системе / КМ:		
			Е / КМ	Т / КМ	DS / КМ
С-11	1,6	1,544		T1 / 24 E0	DS1 / 24 E0
С-12	2,176	2,048	E1 / 30 E0		
С-2	6,784	6,312		T2 / 4 T1	DS2 / 4 DS1
С-3	48,384	34,368 или 44,736 или 32,074	E3 / 16 E1 (34,368 Мбит/с)	T3 / 7 T2 (44,736 Мбит/с)	DS3 / 5 DS2 (32,074 Мбит/с)
С-4	149,76	139,264	E4 / 4 E3	– / 3 T3	– / 4 DS3

Анализ заложенных данных из таблицы по формированию контейнеров СЦИ позволяет сделать следующие выводы:

- ✓ в независимости от иерархии скоростей каналов передачи ПЦИ после третьей ступени мультиплексирования с целью формирования единого основного контейнера С-4 с максимально возможным объемом битовой информации вводятся для каждой из трех международных ПЦИ свои конкретные КМ: для европейской системы скоростей (Е) — КМ равен 4 для объединения четырех ИП типа E3; для североамериканской системы скоростей

(Т) — КМ равен 3 для объединения четырех ИП типа T3; для японской системы скоростей (DS) — КМ равен 3 для объединения трех ИП типа DS3;

- ✓ при формировании контейнера для второго уровня СЦИ исключена европейская скорость ПЦИ E2 (8,448 Мбит/с), что нарушает наиболее рациональную вложенность E1 (2,048 Мбит/с) в E3 (34,368 Мбит/с).

Оказывается, что изначально использование скорости E2 (8,448 Мбит/с) для формирования соответствующего контейнера второй ступени иерархии для СЦИ допускалось, но затем

такая возможность была ограничена без научно-го обоснования.

Следовательно, постараемся выяснить возможную причину отказа от использования E2 (8,448 Мбит/с) в качестве контейнера второй ступени для разработки СЦИ.

Анализ возможной причины отказа от использования E2 (8,448 Мбит/с) в качестве контейнера

Основные стандарты по технологии СЦИ (рекомендации МККТТ G.707 — G.709 в 1989 г.) при формировании сигнала STM-1 первоначально допускали возможность формирования контейнера, образованного на основе вторичного цифрового КП европейской ПЦИ (8,448 Мбит/с).

Однако уже через 2 года (1991 г.) в очередной (второй) редакции этих рекомендаций МККТТ групповая скорость 8,448 Мбит/с для формирования контейнера СЦИ исключается. А бытующее объяснение такого исключения E2 (8,448 Мбит/с) для создания контейнера C-22, при условии обозначения североамериканского контейнера C-2 (6,784 Мбит/с) как C-21, в виде якобы значительного упрощения схемы мультиплексирования, не выдерживает критики.

Дело в том, что для образования C-4 на основе E4 (139,264 Мбит/с) делается обоснование ее использования из-за максимально возможной размерности. Аналогичным образом поступили с образованием контейнера третьей ступени иерархии T3 (48,384 Мбит/с), в которую вошли все три системы ПЦИ (европейская, североамериканская и японская) и ни одну с целью упрощения схемы мультиплексирования не стали исключать.

По всей видимости, причина исключения в 1991 году зональных и местных сетей была созданная аппаратура ИКМ-120. То есть имело место влияние политических и экономических факторов в противоборстве двух мировых систем — между капиталистической системой во главе с США и социалистической с коммунистической вместе взятых во главе с СССР.

Если проанализировать используемые в СССР и Европейском экономическом союзе (ЕЭС) ЦСП при построении цифровых ПСС, то можно отметить следующее:

- ❖ внутризоновые и частично местные ПСС строились на основе аппаратуры типа ИКМ-120 по проводным и оптическим ЛТ (ИКМ-120-5, «Сопка-2», «Соната-2», ОЛТ-025, ТО-41 и др.), в которых скорость соответствует E2 (8,448 Мбит/с);
- ❖ в радиорелейных станциях и отдельных разработках ЦСП специального назначения для развертывания полевой опорной сети связи и прямых линий связи высшего звена управле-

ния имелись режимы работы с использованием E2 (8,448 Мбит/с).

Учитывая наступивший политический и экономический кризис в СССР с последующим развалом страны, а также целесообразность вовлечения РФ и бывших стран ЕЭС в полную зависимость, можно сделать предположение о целенаправленном исключении E2 (8,448 Мбит/с) в виде контейнера из построения СЦИ. Доказательство отсутствия логического обоснования такого решения приведено выше, а что касается научного обоснования, то оно заключается в нарушении закономерности наиболее рациональной (квазиоптимальной) вложенности ИП при мультиплексировании и приведено в работе.

Уточнение схемы формирования STM-1 с учетом использования E2 (8,448 Мбит/с) в качестве контейнера

Несмотря на недостатки технологии ПЦИ и частичное их преодоление в более совершенной технологии NG SDH, системы передачи ПЦИ продолжают использоваться в ТС и производится различными фирмами с предложениями на рынках телекоммуникационного оборудования в классическом исполнении или в виде гибких мультиплексоров⁵. Так как спрос на технологии ПЦИ и СЦИ будет сохраняться определенное время, то их применение не станет исключением для ТС и линий связи разного рода (проводных, оптических, радиорелейных) двойного назначения (ДН) и специального назначения (СН) в более низких звеньях управления.

Учитывая особенность ведения против РФ гибридной войны, соблюдение нашим государством в полном объеме всех международных стандартов и рекомендаций становится не всегда обязательным условием, а для производимого оборудования ДН и СН в случаях необходимой экономической и военно-политической целесообразности это соблюдение международных норм может быть не обязательным.

Действующая схема формирования STM-1 с контейнером C-2 (6,784 Мбит/с) приведена на рисунке 2, где [2]:

- C — контейнер (container);
- VC — виртуальный контейнер (virtual container);
- TU — субблок (tributary unit);
- TUG — групповой субблок (tributary unit group);
- AU — административный блок (administrative unit);
- AUG — групповой административный блок (administrative unit group).

⁵Гибкий мультиплексор Маком-MX Eltex / Eltex_13.12.2024.xlsx// <https://ruits.ru/assets/images/site/logo.svg> (дата обращения: 07.11.2024).

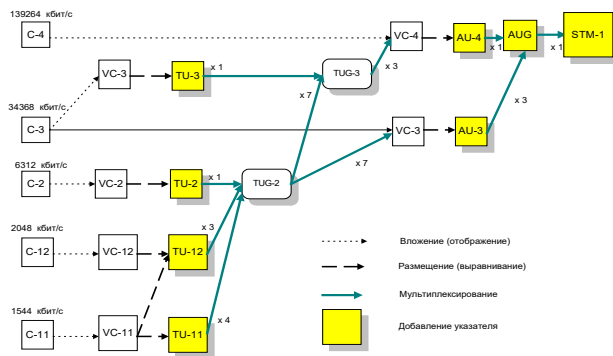


Рис.2. Действующая схема формирования STM-1

Уточненная схема формирования STM-1 с дополнительным контейнером C-22, учитывающая использование E2 (8,448 Мбит/с) и условное обозначение C-2 в виде C-21, приведена на рисунке 3.

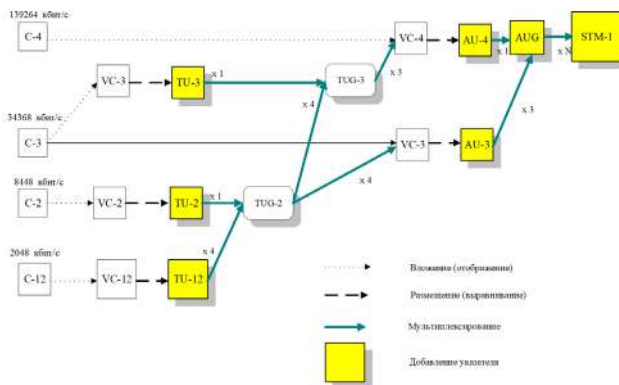


Рис. 3. Уточненная схема формирования STM-1 с дополнительным контейнером C-22

В схеме на рисунке 3 с целью упрощения структуры исключены контейнеры СЦИ с ИП североамериканской и японской ПЦИ первого и второго уровней иерархии, т. е.:

- C-11 с T1 (DS1) на входе (1,544 Мбит/с);
- C-2 с T2 (DS2) на входе (6,312 Мбит/с).

Заключение

В настоящее время технология SDN остается наиболее распространенной технологией построения ТС сети связи общего пользования ЕСЭ РФ и может быть использована десятками лет в будущем, что подтверждает актуальность настоящей научно-исследовательской работы при построении среднескоростных транспортных сетей связи ДН и СН.

Вопросы тактовой синхронизации в сетях СН в значительной мере относятся к технологии SDH, тогда как в ПЦИ, ввиду сравнительно низких скоростей, вполне удачно решаются за счёт встроенного генераторного оборудования мультимплексоров ДН и СН.

Внедрение в схему, в качестве входного для интерфейса СЦИ канала передачи со скоростью 8448 кбит/с, позволяет сопрягать однородные цифровые транспортные сети связи с наименьшими экономическими издержками, а также сопрягать разнородные сети связи с использованием средств радиорелейной связи, которые планируется применять при развертывании полевых сетей и линий связи специального назначения в особых условиях чрезвычайной обстановки.

Разработка алгоритма формирования СТМ с использованием контейнеров C-22, а также использование оборудования ПЦИ, поддерживающее E2 (8,448 Мбит/с) отечественного производства, положительным образом скажется на повышении безопасности, устойчивости, пропускной способности и разведзащищенности сетей СН и ДН, а так же на снижении их стоимости в ходе модернизации и реконструкции.

Литература

1. Гавлиевский, С.Л. Принципы построения мультисервисной сети ПАО «Ростелеком» / С.Л. Гавлиевский, В.Г. Карташевский, Д.В. Проскура и др. – М.: Горячая линия – Телеком, 2021. – 228 с.
2. Олифер, В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Олифер, Н.Олифер. – СПб.: Питер, 2024. – 1008 с.
3. Таненбаум, Э. Компьютерные сети, 5-е издание / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – СПб.: Питер, 2019. – 960 с.

SUBSTANTIATION OF THE EXPEDIENCY OF THE FORMATION OF E2 CONTAINER SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY DUAL USE

Yasinsky S.A.¹, Buravtsova D.A.², Usatsky V.A.³

Keywords: synchronous digital hierarchy container, dual use, E2 transmission channel.

Abstract

The aim of the work is to analyze the gradations of transmission rates of the plesiochronous digital hierarchy and to propose the expediency of introducing a group transmission rate of 8.448 Mbit/s (E2) as an additional container in the synchronous transport module of the synchronous digital hierarchy.

Research method: analysis of existing technologies for building transmission systems of plesiochronous and synchronous digital hierarchy.

Results: As a result of the analysis of speed gradations of the transmission channels of the plesiochronous digital hierarchy, the absence of their optimal nesting in the synchronous transport module STM-1 was found due to the absence of the group speed of the secondary digital transmission channel of the European plesiochronous digital hierarchy (8.448 Mbit/s) at its inputs.

After considering the possible reason for the refusal to use the transmission rate of the European plesiochronous digital hierarchy (8.448 Mbit/s) as a container in the STM-1 synchronous transport module, a proposal was made on the expediency of its practical implementation on the basis of the STM-1 formation scheme refined in the work with an additional container and the possibility of production using the domestic element base, which will increase throughput and safety telecommunication networks being created.

Practical value: The obtained scientific results make it possible to clarify the gradation of transmission rates for the synchronous transport module of synchronous digital hierarchy transmission systems by introducing an additional group speed of the plesiochronous digital hierarchy of 8.448 Mbit/s for the purpose of multiplexing, which will increase the capacity and stability of transport networks of public and special-purpose communications.

References

1. Gavlievsky, S.L. Principles of building a multiservice network of Rostelecom PJSC / S.L. Gavlievsky, V.G. Kartashevsky, D.V. Proskura, etc. – M.: Hotline – Telecom, 2021. – 228 p.
2. Olifer, V. Computer networks. Principles, technologies, protocols / V. Olifer, N.Olifer. – St. Petersburg: St. Petersburg, 2024. – 1008 p.
3. Tanenbaum, E. Computer networks, 5th edition / E. Tanenbaum, D. Weatherall. – St. Petersburg: Peter, 2019. – 960 p.

¹Sergey A. Yasinsky, Dr.Sc., Associate Professor, Professor of the Department of Military Systems of Multichannel Electrical Wire and Optical Communication of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: yasinsky777@mail.ru.

²Daria A. Buravtsova, Senior Lecturer, Department of Military Systems of Multichannel Electrical Conductive and Optical Communications, Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg E-mail: dariko84@inbox.ru.

³Daria A. Buravtsova, Senior Lecturer, Department of Military Systems of Multichannel Electrical Conductive and Optical Communications, Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg E-mail: dariko84@inbox.ru.



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

Editor-in-Chief

Vasily IVANOV, *Ph.D., Ass. Professor, Moscow*

Chairman of the Editorial Council

Alexander RUBIS, *Ph.D., Moscow*

Assistant Editor-in-Chief

Grigory MAKARENKO, *Senior Research Fellow, Moscow*

Editorial Board

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

Signed to the press on 20/11/2024.

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/>

CONTENTS

CONGRATULATION

Sukhoteplyj A.P......2

MODELING OF TACTICS OF COMMUNICATION UNITS IN THE CONDITIONS OF MODERN ARMED CONFRONTATION

Tevs O. P., Pustoshkin M. M......5

METHOD OF COORDINOMETRY OF TWO SPACECRAFT BASED ON THE USE OF EARTH STATIONS

Glebov R.M., Sevidov V.V......14

INFORMATION WAR OF FOREIGN STATES FOR THE PURPOSE OF INFLUENCING THE COMMUNICATION SYSTEM AND TROOPS OF THE RF ARMED FORCES

Vavrinyuk S.A......20

SATELLITE RADIO LINK MODEL WHEN USING EARTH STATIONS WITH PARTIAL CHANNELS

Dragunov M.Yu......26

APPLICATION OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS TO SOLVE PROBLEMS OF PREDICTING THE TECHNICAL CONDITION OF RADIO COMMUNICATION FACILITIES

Chikhachev A.V., Budko P.A., Schmidt A.A......33

IMPROVING THE TIMELINESS OF THE INFORMATION RESOURCES EXCHANGE OF IN A COMMON INFORMATION SPACE

Nikolaev V.V......41

TIMELY DELIVERY OF INFORMATION TO MOBILE CARRIERS

Chernobrovkin S.V......56

SUBSTANTIATION OF THE EXPEDIENCY OF THE FORMATION OF E2 CONTAINER SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY DUAL USE

Yasinsky S.A., Buravtsova D.A., Usatsky V.A......64

TELECOMMUNICATIONS AND COMMUNICATIONS

№3 (03) 2024

DOI: 10.24682/3034-4050



WWW.TELEMIL.RU
EDITOR.TIS@YANDEX.RU